This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

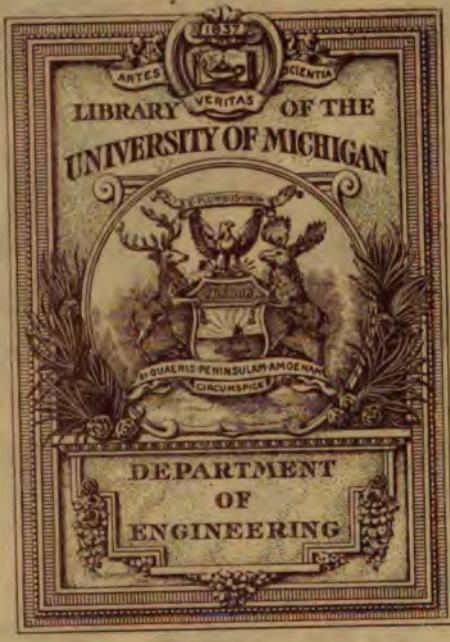
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

B 426846 DUPL


ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

TA
2
.S68

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

Paris. — P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1864

SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ

26, RUE BUFFAULT, 26

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

QUAI MALAQUAIS, 15

1864

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1864)

N° 25

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Installation des nouveaux membres du bureau et du comité.* Discours de MM. le général Morin et Petiet. (Voir le résumé de la séance du 8 janvier 1864, page 25.)

2° *Sondage exécuté à l'hôpital de la Marine, à Rochefort*, par MM. Laurent et Degousée. (Voir le résumé de la séance du 8 janvier, page 32.)

3° *Traction sur plans inclinés au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur funiculaire, système Agudio*, rapport de M. Molinos. (Voir le résumé de la séance des 8 janvier, 5 février, 4 et 18 mars, pages 34, 43, 68 et 75.)

4° *Théorème de géométrie*, par M. Desmousseaux de Givré. (Voir le résumé de la séance du 22 janvier, pages 37 et 92.)

5° *Chaussées en asphalte comprimé*, par M. Malo. (Voir le résumé de la séance des 22 janvier et 5 février, pages 38, 43 et 81.)

6° *Usure et renouvellement des rails* (*Étude sur l'*), par M. E. Flachat. (Voir le résumé de la séance du 22 janvier, page 42.)

163345

7° *Décès de M. Boudsot*, membre de la Société. (Voir le résumé de la séance du 19 février, page 53.)

8° *Proposition de M. Petiet, de disposer le local de la Société de façon à recevoir les membres tous les jours de neuf heures du matin à dix heures du soir.* (Voir le résumé de la séance du 19 février, page 54.)

9° *Régulateur isochrone,* de M. Léon Foucault, rapport par M. Sautter. (Voir les résumés des séances des 4 et 18 mars, pages 65, 72 et 99.)

10° *Traction en fortes rampes à l'aide du troisième rail*, rapport par M. Desbrière. (Voir le résumé de la séance du 18 mars, page 77.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Ch. Laurent, membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport sur les provinces du levant de l'Espagne.*

2° De M. le ministre des travaux publics de Belgique, un exemplaire du *Compte rendu des opérations des chemins de fer pendant l'exercice de* 1862.

3° De M. Louis Lazare, la première livraison du quatrième volume de ses *Publications administratives.*

4° Les numéros de janvier, février et mars du Bulletin de la *Presse scientifique des Deux-Mondes.*

5° Les numéros de janvier, février et mars, de la *Revue les Mondes.*

6° Le numéro de janvier, février et mars du *Génie industriel.*

7° Le numéro de janvier, février et mars du journal *l'Invention.*

8° Les numéros de janvier, février et mars du journal *The Engineer.*

9° De M. Malo, membre de la Société :

1° Deux brochures sur les *transports pneumatiques et sur la conservation des grains par l'ensilage;*

2° Une notice sur *les chaussées en asphalte comprimé.*

10° De M. Flachat (Eugène), membre de la Société, un Mémoire sur *l'usure et le renouvellement des rails.*

11° Le numéro d'août 1863 du bulletin de l'*Institution of Mechanical Engineer.*

12° Les numéros du bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

13° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Les Chemins de fer en* 1862 *et en* 1863.

14° De M. Trélat, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur l'*Enseignement des beaux-arts.*

15° Les numéros 3 et 4 des *Annales de l'association des Ingénieurs de Madrid.*

16° De M. Castellvi, un exemplaire d'une description avec plan d'un nouveau système de *frein pour chemin de fer.*

17° De M. Schabaver, membre de la Société, un mémoire sur *le filtre de M. Coste, fabricant de papier aux Salvages, près Castres.*

18° De M. Toni Fontenay, membre de la Société, un exemplaire d'une analyse de son mémoire sur les *grands tunnels*, par M. Philippe Breton, ingénieur des ponts et chaussées.

19° Un exemplaire du numéro 10 du *Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines.*

20° Les numéros de janvier, février et mars des *Nouvelles Annales de la construction* et du *Portefeuille économique des machines.*

21° De M. Vidal, membre de la Société, une note sur l'*Échappement des locomotives.*

22° Les numéros de janvier et février des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées.*

23° De M. Bévan de Massi, membre de la Société, trois *Albums photographiques* représentant des *vues de la Grèce*, de l'*Égypte*, de *Constantinople* et de *Venise.*

24° Le numéro 1 et 2 de la *Revue générale de l'architecture et des travaux publics.*

25° De M. Ernest Pontzen, ingénieur, un exemplaire d'une brochure sur l'*Imprégnation des bois.*

26° De M. Fabre, ingénieur, un exemplaire d'un travail sur *les formules ordinairement employées pour calculer la résistance des ponts métalliques.*

27° Un exemplaire de l'*Indicateur des chemins de fer Le Train.*

28° Un exemplaire du *Programme des questions soumises à l'examen*

des diverses sections du congrès scientifique de France qui doit avoir lieu à Troyes.

29° De M. Vinchent, membre de la Société, un mémoire sur *les lignes télégraphiques du royaume de Belgique et leurs rapports avec l'exploitation des chemins de fer.*

30° Le numéro de juillet et août de 1863 des *Annales des ponts et chaussées.*

31° Le numéro d'octobre et novembre 1863 de la *Revue des ingénieurs autrichiens.*

Les Membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois de janvier :

MM. Blanleuil, présenté par MM. Marendaz, Love et Richoux.
Bronne, présenté par MM. Caillet, A. Flachat et Maure.
Gandillot, présenté par MM. Barrault, E. Coignet et Tresca.
Gerber, présenté par MM. Dallot, le général Morin et Petiet.
Honoré, présenté par MM. Arson, Callon et Tresca.
Vaessen, présenté par MM. Belpaire, Guérin de Litteau et Valentin.
Veret, présenté par MM. Loustau, Perdonnet et Petiet.

Au mois de février :

MM. Boca, présenté par MM. Deligny, A. Flachat et Huet.
Dailly, présenté par MM. Loustau, Petiet et Salvetat.

Au mois de mars :

MM. d'Arcangues, présenté par MM. Mathias (Félix), Petiet et Thouin.
Armand, présenté par MM. Callon, Cauvet et Decaux.
Calabre, présenté par MM. Alquié, Loustau et Petiet.
Contamin, présenté par MM. Alquié, Donnay et Petiet.
Denise, présenté par MM. Petiet, Salvetat et Tresca.
Depérais, présenté par MM. Geyler, Huet et Poinsot.
Deroide, présenté par MM. Agudio, Arson et Lippmann.

MM. Lancel, présenté par MM. Alquié, Champouillon et Petiet.
Lebargy, présenté par MM. Alquié, Donnay et Petiet.
Martin, présenté par MM. Alquié, Donnay et Petiet.
Mauget, présenté par MM. Degousée, Laurent et Loustau.
Michaud, présenté par MM. Alquié, Donnay et Petiet.
Pereire (Henri), présenté par MM. Flachat (E.), Mathieu et Rhoné.
Pereire (Émile fils), présenté par MM. Flachat (E.), Mathieu Henry et Rhoné.
Petit, présenté par MM. Brüll, Petiet et Tresca.
Roussin, présenté par MM. Petiet, Salvetat et Tresca.
Schneider, présenté par MM. le général Morin, Perdonnet et Petiet.
Vuigner fils, présenté par MM. Petiet, Tresca et Vuigner.
Vuillemin (Émile), présenté par MM. Chobrzynski, Petiet et Vuillemin.
Xavier, présenté par MM. Petiet, Salvetat et Tresca.

Comme Membres-Associés :

MM. Calard, présenté par MM. Bouillon, Decaux et Muller.
Davillier, présenté par MM. Perdonnet, Petiet et Vuigner.
Pereire (Émile), présenté par MM. Callon, Flachat (E.) et Petiet.
Pereire (Isaac), présenté par MM. Callon, Flachat (E.) et Petiet.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

MAI 1864.

Membres du Bureau.

Président :

M. PETIET (Jules) O. ✠ ✠ ✠ ✠, rue de Dunkerque, 20.

Vice-Présidents :

MM. CALLON (Ch.) ✠, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
SALVETAT (Alphonse) ✠, à Sèvres (Manufacture impériale)
TRESCA ✠ ✠ ✠ ✠, rue Saint-Martin, 292.
FORQUENOT (Victor) ✠, rue du Louvre, 6.

Secrétaires :

MM. TRONQUOY (Camille), rue d'Enghien, 17.
DONNAY (Charles), rue Godot-de-Mauroy, 21.
BRÜLL (A.), rue de Moscou, 3.
RICHOUX (Ch.), rue Antoinette, 1, à Montmartre.

Trésorier :

M. LOUSTAU (G.) ✠, rue de Dunkerque, 20.

Membres du Comité.

MM. LAURENT (Charles) ✠, rue de Chabrol, 35.
GOSCHLER (Charles), rue Lavoisier, 1.
NOZO (Alfred) ✠ ✠, boulevard Magenta, 169.
ALCAN (Michel) ✠, rue Laffitte, 45.
ARSON (Alexandre), rue de Bourgogne, 40.
YVON-VILLARCEAU ✠ ✠, à l'Observatoire.
VUIGNER (E.) O. ✠ C. ✠, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.
LIMET (Hippolyte), rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
CHOBRZYNSKI (Jean-P.-G.), ✠, boulevard Magenta, 167
MOLINOS (Léon) ✠, rue Blanche, 46.
FOURNEYRON ✠, rue Saint-Georges, 52.
FLACHAT (E.) O. ✠ ✠, rue de Londres, 49.
LOVE, rue Blanche, 99.

MM. Barrault (Alexis) ✱, rue Moncey, 9.
Alquié (Auguste-François), ✱, rue de Dunkerque, 37.
Peligot (Henri), rue Bleue, 5.
Farcot (Joseph), au port Saint-Ouen.
Mathieu (Henri), rue du Mont-Thabor, 13.
Mathias (Félix) ✱ ✱ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
Vuillemin (Louis-Charles), ✱, rue Réaumur, 43.

Présidents honoraires.

MM. Perdonnet (A.) O. ✱ G. ✱ C. ✱ ✱ ✱, rue de Calais, 16.
Morin (le général), G. ✱ ✱ ✱ ✱, directeur du Conservatoire Impérial des arts et métiers.

Membres honoraires.

MM. Belanger, O. ✱, rue d'Orléans, 15, à Neuilly.
Poncelet (le général) G. ✱ ✱ ✱, rue de Vaugirard, 58.

Membres Sociétaires.

MM. Aboilard (Auguste-François), directeur de charbonnage, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Achard, rue des Acacias-Montmartre, 2.
Agudio (Thomas) ✱, rue de l'Arsenal, 17, à Turin (Piémont).
Albaret, constructeur, à Liancourt (Oise).
Albaret (Eugène), rue d'Orléans-des-Batignolles, 92.
Alby (Joseph), à Turin (Piémont).
Alcan (Michel) ✱, rue Laffitte, 45.
Alquié (Auguste-François) ✱, rue de Dunkerque, 37.
Ameline (Auguste-Eugène), rue Truffaut, 52, à Batignolles.
Andry, à Boussu, près Mons (Belgique).
Appert (Léon), rue Royale, 6, à la Grande-Villette.
Arcangues (d') (Paul-Eugène), rue de Dunkerque, 18.
Arman (Lucien) ✱, constructeur, à Bordeaux (Gironde).
Armand (Eugène), à Moscou (Russie).
Armengaud aîné ✱, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud jeune ✱, boulevard de Strasbourg, 23.
Arnault (Marc-Emmanuel), à Saintes (Charente-Inférieure).
Arson (Alexandre), rue de Bourgogne, 40.
Artus (Jules), rue Notre-Dame-de-Nazareth, 39.
Badois (Edmond), à Suez (Égypte).
Baillet (Gustave), maison Joly, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Balestrini, rue de Rivoli, 172.

MM. Banderali, à Amiens (Somme).
Bara, rue du Colombier, 5, aux Prés-Saint-Gervais.
Barbe (Paul), faubourg Saint-Jean, 7, à Nancy (Meurthe).
Barberot (Félix) ✱ ✱, Grande rue, 21, à Batignolles.
Baret (Pierre-Stéphane-Léop.), 7, Marlborough-Terrau, Carter Saint-Greenhey, Manchester.
Barrault (Alexis), ✱, rue Moncey, 9.
Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 33.
Barroux (Léon), à Dieuzé (Meurthe).
Barthélemy (Félix), quai Voltaire, 3.
Baudouin ✱, avenue de Neuilly, 115.
Baumal (Henri), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Beaucerf ✱, rue de la Michaudière, 9.
Beaussobre (de) (Georges-Emmanuel), à Strasbourg (Bas-Rhin).
Bélanger (Charles-Eugène), à Fresne-sur-Escaut (Nord).
Bellier (Adolphe), au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
Belpaire (Alfred), ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
Benoit-Duportail (Armand-Camille), rue Trezel, 25, à Batignolles.
Benoit-d'Azy (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
Berger (Jean-Georges), chez M. André, à Thann (Haut-Rhin).
Bergeron, rue du Grand-Chêne, 8, à Lausanne (Suisse).
Bergès (Aristide), rue Saint-Germain-l'Auxerrois, 88.
Bernard, chef de la section belge du chemin de fer du Nord à Namur (Belgique).
Bertholomey (Eugène), quai de la Rapée, 44.
Berthot (Pierre), rue des Bons-Enfants, 19.
Berton (Théodore), rue Mademoiselle, 16, à Versailles (S.-et-O.).
Bertot (Henri), rue Notre-Dame-de-Nazareth, 10.
Beugniot, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massi (Henri), rue des Martyrs, 27.
Bianchi, ✱ ✱, rue des Postes, 47.
Binder (Charles-Jules), boulevard Beaujon, 112.
Bippert, rue des Petites-Écuries, 42.
Birlé (Albert), à Milan (Italie).
Biver (Hector) ✱, à Saint-Gobain, par Coucy-le-Château (Aisne).
Blanc-Garin, boulevard Bonne-Nouvelle, 35.
Blanche (Auguste), quai Impérial, 3, à Puteaux.
Blanleuil, à la Couronne, près Angoulême (Charente).
Blard (Alexandre-Louis), rue du Louvre, 6.
Blonay (de) (Henri), directeur des ateliers de construction de la Reichshoffen, près Niederbronn (Bas-Rhin).
Blondeau (Paul-François), rue des Écoles, 66.
Blot (Léon), rue d'Amsterdam, 54.

MM. Blutel, à Troyes (Aube).
Boca (Paul-Alcide), rue du Mail, 13.
Bois (Victor), place du Havre, 14.
Boitard (Charles-Alfred), à Maromme (Seine-Inférieure).
Boivin (Émile), rue de Flandre, 145, à la Villette.
Bonnaterre (Joseph), rue Gaillon, 11.
Bonnet (Désiré), à Toulouse (Haute-Garonne).
Bonnet (Auguste-Félix), rue de Sèvres, 8.
Bordet, à Remilly, par Sombernon (Côte-d'Or).
Borgella (Édouard), boulevard Magenta, 98.
Bossu, à la cristallerie de Saint-Louis, par Goetzembruck (Moselle).
Boucard (Alexandre-André), rue de la Paix, 3.
Boudard (Casimir), à Dangu, par Gisors (Eure).
Boudard (Félix-Arthur), à Pont-Rémy (Somme).
Boudent (Ernest-Gabriel), rue Saint-Sauveur, 18.
Bougère (Laurent), à Angers (Maine-et-Loire).
Bouilhet (Henri-Charles), rue de Bondy, 56.
Bouillon (Augustin), rue de Chabrol, 33.
Bouquié, rue Saint-Georges, 43.
Bourcard (Henri), à Guebwiller (Haut-Rhin).
Bourdon ✻, rue Notre-Dame-des-Victoires, 28.
Bourdon (Eugène) ✻, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourgougnon (Étienne), rue de la Victoire, 43.
Bourgeat (Alphonse), à Rochefort-sur-mer (Charente-Inférieure).
Bournique, quai prolongé de la Gare, 29, Ivry.
Bourset, gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Bousson, rue de Greffulhe, 8.
Boutigny d'Évreux ✻, chimiste, rue de Flandre, 52, à la Villette.
Boutin (Gilbert-Théodore), place de Saint-Vincent-de-Paul, 2, à Levallois (Clichy).
Boutmy, rue de Rambouillet, 2.
Boutté (Louis), rue Sainte-Placide, 49.
Branville (de) (Paul), boulevard Montparnasse, 114.
Breguet ✻, quai de l'Horloge, 39.
Brialmont, aux établissements de M. John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Bricogne (Charles) ✻, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
Bridel (Gustave), à Bienne (Suisse).
Brissaud ✻, rue de Rennes, 17.
Brocchi (Auguste), rue Racine, 30.
Bronne, rue Caumartin, 60.
Bruère, à Coulommiers (Seine-et-Marne).
Bruignac (Duroy de) (Albert), rue Satory, 46, à Versailles (S.-et-O.).

MM. Brunet (de), Palacio de Palmetla Cathariz, Lisboa.
Brüll, rue de Moscou, 3.
Brunier, rue Neuve-Saint-Patrice, 6, à Rouen (Seine-Inférieure).
Buddicom, rue de Lille, 97.
Bureau, rue de la Victoire, 68.
Burel (Eugène), rue Olivier, 12.
Burt, rue Caumartin, 54.
Busschop (Émile), rue Vauban, 2, à Dijon (Côte-d'Or).
Bussierre (de), à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Cahen (Eugène), rue des Petits-Hôtels, 3.
Cail (Émile), rue de la Tour, 18, à Passy.
Caillé (Jules-Charles), rue Guy-de-la Brosse, 11.
Caillet, avenue d'Antin, 37.
Caillot-Pinard, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Caisso (Marin), aux ateliers du chemin de fer, rue de la Santé prolongée, à Batignolles.
Calabre (Sébastien), rue de Jessiant, 8.
Calla ❋, rue Lafayette, 11.
Callon (Charles) ❋, rue Royale Saint-Antoine, 16.
Calmette, fossés du Chapeau-Rouge, 14, à Bordeaux (Gironde).
Calrow, rue de Ménilmontant, 99.
Cambier, place d'armes, à Luxembourg (Grand-Duché).
Capdevielle, chez MM. Maze et Voisine, rue des Vertus, 70, à la Villette.
Capuccio (Gaetano), à Turin (Piémont).
Carcenat (Antoine), à la gare du chemin de fer du Nord, Paris.
Carimantrand (Jules), rue Blanche, 17.
Caron (Amédée), rue Garancière, 7.
Carpentier (Alphonse), rue de Fleurus, 37.
Castel (Émile) ❋❋, place Roubaix, 24.
Castor ❋, à Mantes (Seine-et-Oise).
Cauvet (Jacques-Aubin), rue de la Chaussée-d'Antin, 45.
Cavé ❋ (François), place Lafayette, 22.
Cavé (Amable), avenue Montaigne, 51.
Cazalis de Fondouce, à Montpellier (Hérault).
Cazes (Edwards-Adrien), à Madrid (Espagne).
Cernuschi, Boulevard Malesherbes, 10.
Chabrier (Ernest), rue Saint-Lazare, 99.
Championnière, à Monlignon, près Montmorency (Seine-et-Oise).
Champouillon, à la gare du chemin de fer du Nord (Paris).
Chancerel (Charles-Antoine), rue Papillon, 9.
Charaudeau (Jules), rue de l'Arcade, 18.
Charbonnier, rue de Bréa, 24.
Chapelle ❋, boulevard Beaumarchais, 102.

MM. Chaper ✱, rue de Provence, 58.
Charpentier (Joseph-Ferdinand), rue des Lions-Saint-Paul, 5.
Chauvel (Émile), à Navarre, par Évreux (Eure).
Chavès (Léopold), inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue Paradis-Poissonnière, 12.
Chéronnet (Victor), avenue de Saint-Denis, 65, Passy (porte Maillot).
Chevandier de Valdrome (Eugène-Jean), rue de la Victoire, 22.
Chobrzynski (Jean-Pierre-Charles), ✱, boulevard Magenta, 167.
Chollet (Louis), à Belfort (Haut-Rhin).
Ckiandi (Alexandre-Henri), cours Bonaparte, 80, Marseille (B.-du-R.).
Clémendot (Louis), directeur de la cristallerie de Clichy-la-Garenne.
Clément-Desormes, rue Bourbon, à Lyon (Rhône).
Clervaux (de), (Paul), directeur des usines de Torteron (Cher).
Coignet (François), quai Jemmapes, 228.
Coindet (Eugène), r. de l'Hôtel-de-Ville, 3, au Havre (S.-Inférieure).
Colladon, à Genève (Suisse).
Comte (Charles-Adolphe), rue Laffitte, 17.
Conrard, Grande Rue, 16, à Fouy-lès-Toul (Meurthe).
Consolat, rue Caumartin, 58.
Contamin (Victor), rue du Faubourg-Saint-Martin, 148 bis.
Coquerel (Paul), boulevard des Batignolles, 22.
Cordier, rue Caumartin, 26.
Cornaille (Alfred), à Cambrai (Nord).
Cosyns, à Couillet, par Charleroi (Belgique).
Cournerie (Amédée-Barthélemy), à Cherbourg (Manche).
Courras (Philippe), rue de Vienne, 13.
Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtines (Jacques) ✱, à Rueil (Seine-et-Oise).
Couture (Jules), Bureau des Études au chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 18.
Crépin (Christian), boulevard Magenta, 161.
Crespin (Auguste), rue d'Antin, 20, aux Batignolles.
Crespin (Arthur-Auguste), rue Rochechouart, 69.
Crétin ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 182.
Cuinat (Charles), à Varsovie (Russie).
Daguerre d'Ospital (Léon), sous-chef de traction au chemin de fer de Saragosse, à Madrid (Espagne).
Daguin (Ernest), rue Geoffroy-Marie, 5.
Dailly (Gaspard-Adolphe), rue Pigalle, 6.
Dallot (Auguste), rue de Vendôme, 17.
Dambricourt (Auguste), à Wezernes, par St-Omer (Pas-de-Calais).
Darblay (Paul), à Corbeil (Seine-et-Oise).
David (Augustin), boulevard Magenta, 167.
David (Girard), rue Doudeauville, 14, à la Chapelle.

MM. Debauge (Jean-Louis), ✱, rue de Tournon, 8.
Debié, à la papeterie de la Croix-Blanche, à Thiers (Puy-de-Dôme).
Debonnefoy de Montbazin, rue Madame, 6.
Decaux (Charles-Auguste), ✱, boulevard Saint-Jacques, 84.
De Coene (Jules), à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse (Charles), rue des Martyrs, 47.
De Dion (Henri), ✱, à Monfort-Lamaury (Seine-et-Oise).
Deffosse (Étienne-Alphonse), au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à Valence (Drôme).
Degousée (Edmond), rue Chabrol, 35.
Dejoly (Théodore), rue Martignac, 1.
Delannay, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delannoy (François-Albert), ✱ C ✠, à la gare du chemin de fer d'Orsay, à Montrouge.
Delaporte (Louis-Achille), à l'usine de Montataire (Oise).
Delattre, rue d'Orléans, 32 (Batignolles).
Delaville-Leroux, directeur des forges d'Imphy (Nièvre).
Delebecque, rue Chabrol, 34.
Deligny (Simon-Victor), O ✱, vieille route de Neuilly, 15.
Delom (Florentin), chaussée Clignancourt, 22.
Delon (Ernest-Louis), rue Richepance, 4.
Delonchant, Grande Rue, 26, à Sèvres (Seine-et-Oise).
Delpech (Ferdinand), Chaussée d'Antin, 51.
Demeule (Gustave), à Elbeuf, rue de la Bague (Seine-Inférieure).
Denise (Lucien), passage Violet, 12.
Deniel ✱, à Troyes (Aube).
Deodor (Léon), rue du Chevaleret, 51.
Depérais (Charles), à Naples (Italie).
Deroide (Auguste), rue du Théâtre, 79, à Grenelle.
Derennes (Jean-Baptiste-Ernest), quai Napoléon, 15.
Desbrière, rue de La Bruyère, 8.
Desforges (Louis-Alphonse), au chemin de fer de Mulhouse (H.-R.).
Desgrange, ingénieur en chef du chemin de fer du Sud, Wollzeil, 783, à Vienne (Autriche).
Desmasures (Camille), O ✱, rue Taitbout, 67.
Desmousseaux de Givré (François-Xavier-Émile), rue de Lille, 79.
Desnos (Charles), boulevard Saint-Martin, 29.
Després (Gustave), rue de l'Arcade, 65.
Devaureix (Jules), rue des Couronnes, 2, à la Chapelle-St-Denis.
Develuy (Marie-Alfred-Alphonse), rue d'Hauteville, 33.
Devers (Eugène-Charles), rue des Filatiers, 36, à Toulouse (Haute-Garonne).
D'Hamelincourt (Éloi-Joseph), rue Saleneuve, 29 (Batignolles).
Diard (Henri-Pierre-Alfred), boulevard Beaumarchais, 47.

MM. Dinan, allées Marines, à Bayonne (Basses-Pyrénées).
Dombrowski (Ignace), à Bar-le-Duc (Meuse).
Donnay (Charles), chef du bureau des études au chemin de fer du Nord, rue Godot-de-Mauroy, 21.
Dorré, aux ateliers du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg, à la Chapelle Saint-Denis.
Doublet, rue de Sèvres, 4, à Boulogne-sur-Seine.
Dru (Saint-Just-Antoine), rue Fénelon, 11.
Dubied (Henri-Edouard), rue de la Victoire, 21.
Dubois, rue de l'Annonciade, 30, à Lyon (Rhône).
Dufournel (Alphonse-Théodore), à Gray (Haute-Saône).
Dugourd, à Alais (Gard).
Dujour (Nicolas-Alexis), rue Balagny, 8, à Batignolles.
Duméry, rue de Monceau, 8.
Du Pan (Louis), à Soissons (Aisne).
Du Pré ✻, ingénieur en chef honoraire des ponts et chaussées, à Bruxelles (Belgique).
Durenne ✻, rue Rougemont, 12.
Durenne (Antoine) ✻, rue de la Verrerie, 30.
Durocher (Constant), rue de la Verrerie, 83.
Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).
Duval (Raoul), place Vendôme, 16.
Eiffel (Gustave), rue Neuve-des-Mathurins, 48.
Elwell, rue de la Rochefoucauld, 66.
Engelmann, en Russie.
Ermel (Frédéric), rue Montholon, 28.
Étienne (Antoine), au chemin de fer de Séville à Cordoue, à Séville (Espagne).
Evans (Francisco) 103, Stale Street-Boston (États-Unis).
Évrard (Augustin), rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
Faliès (Jacques-Alfred), Chaussée-du-Maine, 4.
Farcot (Joseph), au port Saint-Ouen (banlieue).
Farcot père ✻, au port Saint-Ouen.
Farcot (Emmanuel), au port Saint-Ouen.
Farcot (Abel), au port Saint-Ouen.
Faucon (Charles), à Morlaix (Finistère).
Fauconnier, avenue Parmentier, 15.
Faure-Beaulieu, rue Compoise, à Saint-Denis.
Febvre (Armand), avenue Montaigne, 48.
Fellot (Jean), rue de Chartres, 18 (Batignolles).
Fernex (de), rue de la Ferme-des-Mathurins, 58.
Fernique (Albert), rue de la Prison, 4, à Saint-Quentin (Aisne).
Ferot ✻, rue d'Amsterdam, 15.

MM. Fèvre (Léon-Jean-Baptiste), rue et cité Turgot, 5 et 7.
Fèvre (Henri), boulevard Malesherbes, 76.
Fiévet (Ernest-Emile), fundicion del canal, à Valladolid (Espagne).
Flachat (E.) O. ✻ ✻, rue de Londres, 49, et à Asnières (Seine).
Flachat (Adolphe), rue Caumartin, 70.
Flachat (Yvan), rue Lavoisier, 1.
Flaud, rue Jean-Goujon, 27.
Fonbonne (de) (Charles-Alexandre), chaussée des Martyrs, 23.
Fontenay (de) (Anselme), rue du Cherche-Midi, 36.
Fontenay (Toni), rue des Récollets, 1, à Grenoble (Isère).
Fontenay (de) (Eugène) ✻, à Baccarat (Meurthe).
Forey (Miltiade), à Montluçon (Allier).
Forquenot (Victor), ✻, rue du Louvre, 6.
Fortin-Herrmann (Louis), boulevard Montparnasse, 71.
Fortin-Herrmann (Émile), boulevard Montparnasse, 71.
Foucault (Léon) ✻, rue d'Assas, 34.
Foucou, rue Boileau, 60, à Auteuil.
Fourneyron ✻, rue Saint-Georges, 52.
Fournier, rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Fournier (A.), boulevard du Chemin de fer, 36, à Orléans (Loiret).
Fresnaye (Adrien-Aimé), à Marenlo, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Frichot, à Pont-Rémy (Somme).
Fromantin (Jean-Baptiste), rue Bonaparte, 24.
Fromont, au chemin de fer de l'Est, à Vesoul (Haute-Saône).
Froyer, à Castillon (Gironde).
Fuchet (Pierre-Paul), rue Mayet, 4.
Gaget, rue de Provence, 13.
Gallaud (Charles), boulevard Pigalle, 48.
Gallois (Charles), avenue des Ternes, 55.
Gandillot (Jules), rue Turgot, 15.
Ganneron (Edmond), quai de Billy, 56.
Garnier (Paul) ✻, rue Taitbout, 16.
Gaudet ✻, à Rive-de-Gier (Loire).
Gaudry (Jules), rue de Dunkerque, 24.
Gaupillat (Ernest), au bas Meudon (Seine-et-Oise).
Gauthey (Émile-Marc-Marius), rue des Beaux-Arts, 2.
Gaveau (Alfred-Frédéric), chez M. Facundo Chalbaud, négociant à Bilbao, près Bayonne (Espagne).
Gayrard (Gustave) ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 222.
Génissieu, rue Saint-Honoré, 155.
Gentilhomme ✻, quai de la Tournelle, 45.
Geoffroy (Octave), chaussée de Clignancourt, 84, à Montmartre.
Gerber (Eugène), rue du Béguinage, 6, à Bruxelles (Belgique).

MM. Germain, rue Saint-Denis, 58, à Belleville.
Germon (Alexis), ingénieur du matériel et de la traction au chemin de fer du nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).
Gérondeau (Henri-Jean-Baptiste), à Voves (Eure-et-Loir).
Geyler (Alfred-Édouard), rue Blanche, 95.
Gibon (Alexandre-Louis), à Commentry (Allier).
Giffard ✱, rue Marignan, 14.
Gil (Claudio), à Barcelonne (Espagne).
Gingins (de) (Olivier), rue d'Aumale, 7.
Girard, faubourg Poissonnière, 35.
Gislain, rue Lepelletier, 35.
Godfernaux, boulevard de la Madeleine, 17.
Goschler (Charles), rue Lavoisier, 1.
Gottschalk, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Gouin (Ernest) O ✱, rue de la Ville-l'Évêque, 44.
Goumet, rue du Temple, 118.
Gouvy (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).
Grenier (Achille) ✱, ingénieur en chef au chemin de fer Guillaume de Luxembourg (Grand-Duché).
Grièges (de) (Louis-Maurice), rue Joubert, 39.
Guérard (Paul), au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).
Guérin de Litteau (Edgard) ✱, rue d'Antin, 9.
Guettier, rue de Ménilmontant, 74.
Guibal (Théophile) ✱, à l'École des mines de Mons (Belgique).
Guillaume (Charles) ✱, au chemin de fer du Midi, à Toulouse (Haute-Garonne).
Guillaume (Henri), rue du Château-d'Eau, 58.
Guillemin (Étienne), à la Péraudette, près Lausanne (Suisse).
Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).
Guillet (Félix-François), directeur de l'École professionnelle du Centre, à Ménars (Loir-et-Cher).
Guillon (Jean-Louis) ✱, à Amiens (Somme).
Guillot (Gustave) ✱, ingénieur du matériel du chemin de fer Victor-Emmanuel, à Turin (Piémont).
Guntz (Charles), à Haguenau (Bas-Rhin).
Hallié (François-Ernest), à Fermo (Italie).
Hallopeau (Paul-François-Alf.), rue Albouy, 2.
Hamers, rue du Guignier, 1, à Belleville.
Hamoir ✱, à Maubeuge (Nord).
Henri-Lepaute (Édouard-Léon), rue de Rivoli, 146.
Hermary (Philippe), à Moulle, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Herpin (Louis), Grande-Place, 41, à Saint-Quentin (Aisne).
Hervey-Picard (Paul-Philippe), rue Saint-Louis, 54, Batignolles.

MM. Hervier (Alfred-Charles), rue de la Fidélité, 10.
Heurtebise (Paul), chez M. Doré, maître de forges, rue Napoléon, 24, au Mans (Sarthe).
Holcroft, à Tours (Indre-et-Loire).
Honoré (Frédéric), rue de Verneuil, 30.
Houel ✱, quai de Billy, 48.
Houlbrat (Abel), rue du Havre, 12.
Hovine, rue de Lyon, 61.
Hubert, rue Blanche, 69.
Hubert (William) ✱, rue Méroménil, 2.
Huet (Alfred), rue Blanche, 95.
Humblot (Nicolas-Léon), rue des Clercs, à Metz (Moselle).
Hurcourt (d'), rue des Tournelles, 47.
Imbs (Alexis-Joseph-Alb.), à Brumath, près Strasbourg (Bas-Rhin).
Jacquesson (Eugène), à Chalons (Marne).
Jacquin, rue de l'Église, 20, à Batignolles.
Jarry, à Saint-Pares-lès-Vandes (Aube).
Jequier (Henri-Jean), à Santiago (Chili).
Jolly (César), à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Jordan (Samson), rue de Provence, 14.
Jouannin (Achille), rue de Clichy, 78.
Jousselin (Paul), place Dauphine, 13.
Jucqueau, inspecteur de la voie au chemin de fer d'Orléans, à Poitiers (Vienne).
Jullien (Charles-Édouard), boulevard Beaumarchais, 76.
Juteau (Émile-Désiré), rue Saint-Honoré, 64.
Karcher (Édouard), à Sarrebruck (Prusse-Rhénane).
Knab (Clovis), boulevard Magenta, 190.
Kamarnicki, rue Fontaine-Saint-Georges, 28.
Kreglinger, chaussée de Berchem, 79 (Belgique).
Laborie (de) (Alexandre), ✱, boulevard de Sébastopol, 27.
Laboulaye ✱, rue de Madame, 40.
Labouverie (Prosper), à Bouillon, province de Luxembourg.
Lacombe ✱, rue de La Rochefoucaud, 46.
Lacroze, rue de Rivoli, 13.
Lafon (Adrien), à Elvas (Portugal).
Lainé, rue du Faubourg-du-Temple, 59.
Laligant (Paul), à Maresquel, par Champagne-lès-Hesdin (P.-de-C.).
Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.
Lambert (Ernest), à Vuillafonds, par Ornans (Doubs).
Lancel (Augustin-Jules), à Tergnier (Aisne).
Langlois (Auguste), hôtel du Soleil-d'Or, à Saint-Dizier (Haute-Marne).
Langlois (Charles), rue Joubert, 10.
Langlois (Ernest-Hippolyte), à Fermo (Italie).

MM. Larpent, à Utrecht (Pays-Bas).
Larochette (de) (Gérôme) ✱, quai de la Charité, 27, à Lyon (Rhône).
La Salle (Auguste), à Kriens, près Lucerne (Suisse).
Lasseron (Charles), à Alexandrie (Égypte).
Lasvigne (Louis), rue Caroline, 11, Batignolles.
Laurens (Antoine-Louis) ✱, rue Saint-Honoré, 368.
Laurent (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône).
Laurent (Lambert), gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Charles) ✱, rue de Chabrol, 35.
Laurenzano (Nicolas-Marie), strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59 (Naples).
Lavalley ✱, avenue de l'Impératrice, 47.
Lavergne (Ludovic), rue de Bruxelles, 27.
Lavezzari (Émile), à Écuires, près Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Lebargy, aux ateliers du chemin de fer du Nord, à la Chapelle.
Lebon (Eugène), rue Drouot, 11.
Le Brun (Louis-Gabriel), rue de Belzunce, 10.
Le Brun (Raymond-Louis), Puerta del Sol, 14, à Madrid (Espagne).
Lecherf, rue de l'Abbaye, 4, à Montmartre.
Le Cler (Achille), rue de l'Abbaye, 12.
Leclerc (Émile), à l'Usine à gaz à Alger (Afrique).
Lecœuvre (Paul), rue Saint-Louis, 83.
Leconte ✱, rue de Bercy, 4.
Lecorbellier (George-G.), rue de Londres, 51.
Le Cordier, à Caen (Calvados).
Lefèvre (Prosper), rue Lemercier, 31 (Batignolles).
Lefèvre (Edmond-Ferdinand), à Mulhouse (Haut-Rhin).
Lefrançois, rue Rocroy, 23.
Legavriand (Paul-Floride), à Lille (Nord).
Le Laurin (Jules), rue de Rivoli, 50.
Lemoinne (Lucien) ✱, rue Notre-Dame, 18, à Passy.
Lemonnier (Théodore), aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonon (Ernest), à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).
Lencauchez, rue de Rivoli, 69.
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy (Amable), place de la Gare, 27, à Nancy (Meurthe).
Letellier, rue Neuve-des-Martyrs, 10.
Letestu, rue du Temple, 118.
Levat (Gustave) ✱, à Arles (Bouches-du-Rhône).
Lévi-Alvarès (Albert), à Alagon, près Saragosse (Espagne).
Lévy (Jules), rue de Rivoli, 104.
Lévy (Emmanuel), à Renteria-Guipuzcoa (Espagne).
Leygue (Pierre-Aug.-Léon), à Amiens (Somme).

MM. Limet (Hippolyte), rue du Faubourg-Poissonnière, 3?.
Limoge (de) (Louis-Auguste), au Pouzin (Ardèche).
Lippmann (Édouard), rue de Rivoli, 51.
Litschfousse (Léon), chez M. Margo, à Cannes (Aude).
Loisel, O ✠, rue Tronchet, 2.
Longraire (Léopold-François), à Bologne (Italie).
Lopez-Bustamante (Antoine), à Santander (Espagne).
Loustau (Gustave) ❋, rue de Dunkerque, 20.
Love (Georges-Henri), rue Blanche, 99.
Loyd, chez M. Gouin, à Batignolles.
Macé, rue Amelot, 16.
Machecourt, à Decize (Nièvre).
Maire (Armand), boulevard Malesherbes, 19.
Mallac (Jacques), rue Saint-Paul, 14, Bordeaux (Gironde).
Maldant, rue de Lormont, 2 et 5, Bordeaux (Gironde).
Mallet (Anatole), rue Blanche, 80.
Malo (Léon), aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain)
Manby (Charles), 25, Great George street, Westminster.
Mangeon (Camille), à Melun (Seine-et-Marne).
Marçais, rue de Rivoli, 132.
Marcilly (de), à Suez (Égypte).
Marché (Eugène-Ernest), rue de Rambuteau, 37.
Marès (Henri-Pierre-Louis), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
Marié ❋, rue de Bercy, 4.
Marin (Paul), boulevard Magenta, 165.
Marindaz (Jules-Charles), rue de Clichy, 56.
Marion (Jacques-Louis), rue Marcadet, 6, à la Chapelle.
Mariotte (Charles), quai de la Rapée, 36.
Marle (Paul), aux Mines de Blanzi (Saône-et-Loire).
Marsillon (Jean), ingénieur principal, à Vesoul (Haute-Saône).
Martenot ❋, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin (Léon), à Commentry (Allier).
Martin (Louis) ❋, rue de Strasbourg, 8.
Martin (Charles-William), boulevard Montceau, 2.
Martin (Léon-Adolphe), à Saint-Quentin (Aisne).
Mary (Albert-Jean-Baptiste), rue de Vaugirard, 20.
Massé, place Royale, 60, à Reims (Marne).
Masselin (Armand), rue Dauphine, 16.
Mastaing (de) (Louis), rue de Ponthieu, 24.
Mathias (Félix) ❋ ❋ ❋ ❋, rue de Dunkerque, 20.
Mathias (Ferdinand) ❋ ❋, à Lille (Nord).
Mathieu (Henri), rue Monthabor, 13.
Mathieu (Ferdinand) O ❋, au Creusot (Saône-et-Loire).
Mathieu (Jules), rue de l'Entrepôt, 15.

MM. MAUGET (Jean-Aristide), à Naples (Italie).
MAUGUIN (Pierre-Étienne), rue Ménars, 8.
MAURE (Edmond), rue Miroménil, 13.
MAYER (Ernest) ✱, rue Pigalle, 26.
MAZADE (DE) (Étienne-Louis-Denis), rue Singer, 20, à Passy.
MAZELINE ✱, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
MAZILIER (Hippolyte), boulevard de Strasbourg, 89.
MÉGRET, au château de la Meynardie à Saint-Privat, par Saint-Aulaye (Dordogne).
MÉLIN (Jules-Léon), rue Vivienne, 9.
MÉRAUX (Gustave-Louis), rue Chabrol, 36.
MERCIER, rue Pierre-Levée, 18.
MESDACH, rue Saint-Paul, 28.
MESMER ✱, à Graffenstaden (Bas-Rhin).
MESNARD, avenue des Champs-Élysées, 51.
MEYER (J.-J.), Schatten-Ring, 2, à Vienne (Autriche).
MICHAUD (Jules), Grande Place, 49, à Saint-Quentin (Aisne).
MICHEL (Alphonse), à Troyes (Aube).
MICHELANT ✱, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt), à Ivry.
MICHELET (Émile), quai Valmy, 251.
MIGNON, rue Ménilmontant, 151.
MINARY, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
MIRECKI (Antoine-Salwomir), en Russie.
MITCHELL (Jean-Baptiste), rue de Lyon, 61.
MOLÉON (Léopold), rue de la Paix, 16.
MOLINOS (Léon-Isidore) ✱, rue Blanche, 46.
MOLLARD, rue de la Paix, 86 (Batignolles).
MONNOT (Victor-Alexis), à Pontru (Aisne).
MONTGARVILLE (DE) (Félix), au chemin de fer de Tours, à Tours.
MONTHIERS, rue Neuve-des-Petits-Champs, 64.
MONY (Stéphane) ✱, à Commentry (Allier).
MORANDIÈRE (Jules-Raoul), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
MORANDIÈRE (Édouard-Alexis), à Napoléonville (Vendée).
MOREAU (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
MOREAUX, rue de Ponthieu, 8.
MOREL, boulevard de Strasbourg, 62.
MORICE, à Hazebruck (Nord).
MORIN (le Général) G. ✱ ✱ ✱ ✱, rue Saint-Martin, 292.
MULLER (Adrien), rue d'Amsterdam, 18.
MULLER (Alfred), rue Rochechouart, 42.
MULLER (Émile), rue Chabrol, 33.
NANCY (Alfred), ingénieur des docks, au Havre (Seine-Inférieure).
NEPVEU (Charles), rue Blanche, 80.
NILLIS (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).

MM. Noisette, rue des Poissonniers, 50, à la Chapelle.
Normand fils, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
Nozo (Alfred) ✻ ✻, boulevard Magenta, 169.
O'Brien (William), Bryn-Mawz, Breconshire (Angleterre).
Ottavi (Antoine), avenue de Saint-Cloud, 33, à Passy.
Oudot (Charles), rue Chégaret, 9, à Bayonne (Basses-Pyrénées).
Palotte (Émile), fils, rue de la Chaussée-d'Antin, 21.
Paquin ✻, au chemin de fer de Saragosse à Alicante, à Madrid (Espagne).
Pascal, rue du Faubourg-Saint-Denis, 92.
Pasquet-Chamier (Georges-Antoine), boulevard de Strasbourg, 48.
Paul (Antoine), rue de Clichy, 69.
Peligot (Henri), rue Bleue, 5.
Pellier (Pierre-Émile), place Friedland, 32, à Metz.
Pepin-Lehalleur ✻ ✻, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
Perdonnet (Auguste) O ✻ G ✻ C ✻ ✻ ✻, rue de Calais, 16.
Péreire (Eugène) ✻ ✻, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Péreire (Émile) fils, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Péreire (Henri), rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pérignon (Eugène), faubourg-Saint-Honoré, 105.
Périssé (Jean-Silvain), rue des Dames, 7, aux Batignolles.
Perret (Louis), à Milan (Piémont).
Perrot ✻, rue de Sèvres, 76, à Vaugirard.
Petiet (Jules) O ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Petin ✻, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit (Émile-Charles), rue d'Enghien, 28.
Petitgand, rue Richer, 13.
Petitjean, rue de Bruxelles, 13.
Petre, place Vendôme, 16.
Picard, maison Tanquier, place Championnet, à Valence (Drôme).
Pierre (Antoine), à Remauviller, près de Tillot (Vosges).
Pierron ✻, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.
Pihet fils, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pillichody (Arnault), à l'Arbresle (Rhône).
Pinat (Léon), aux forges d'Allevard (Isère).
Piquet (Alphonse), ingénieur en chef des mines de Gibraléon, province de Huelva (Espagne).
Place (de) (Henry), à Commentry (Allier).
Planhol (de) ✻, ingénieur principal de la ligne d'Italie, maison Laya à Genève (Suisse).
Plazolles (Eugène), à Saintes (Charente-Inférieure).
Poinsot, rue Hauteville, 45.
Pollet, calle de las Dolorès Chicos, Cordoba (Espagne).

MM. Poiret (Émile), au Mans (Sarthe).
Poncet (Charles), entrepreneur à Larcenac, commune de Saint-Vincent, par Vorey (Haute-Marne).
Poncin (Frédéric), à Brives (Corrèze).
Pot (Charles), rue Dieudé, 18, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Alfred-François), rue de Penthièvre, 6.
Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, à Passy.
Pouchet (James), rue Bonaparte, 18.
Pouell, chef de section au chemin de fer du Nord, à Douai (Nord).
Poulot, avenue Trudaine, 9.
Poupard, rue des Batailles, 31.
Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley (William-Charles), rue Saint-Gilles, 17.
Princet (Léopold), à Épinal (Vosges).
Prisse (Édouard-Louis) ✱, au chemin de fer d'Anvers à Gand (Belgique).
Pronnier (Charles), rue Pigalle, 34.
Pury (de) (Gustave), à Neuchâtel (Suisse).
Rancès (Frédéric), rue Sainte-Catherine, 137, à Bordeaux (Gironde).
Redon (Martial), allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
Regad (Léon), boulevard Longchamps, 107, à Marseille (B.-du-R.
Regel (de) (Philippe-Constant) ✱, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnault (Jules), rue de Stockholm, 4.
Renard, rue du Bac, 83.
Renard (Lucien), rue de Luxembourg, 33,
Renaud (Hippolyte), à Deluz, canton de Roulans (Doubs).
Rey (Louis-Pierre-Félix), rue Culture-Sainte-Catherine, 14.
Reymond, entrepreneur à Souel par Cordès (Tarn).
Reynaud, à Cette (Hérault).
Reytier, rue du Cherche-Midi, 34.
Revin (Jules-Henri-Victor-J.), rue Saint-Philibert, 110, à Dijon (Côte-d'Or).
Rhoné (Charles-Léopold) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Ribail (Xavier), rue du Chemin de fer, 35, à Plaisance.
Richard (Louis), rue de l'Oratoire-du-Roule, 11.
Riche (Armand), à Suez (Égypte).
Richemont (de) (Nicolas), à Gous, près Koeimoff, gouvernement de Riazan (Russie).
Richomme, à la gare du chemin de fer du Nord, à Paris.
Richoux (Charles), rue Antoinette, 1, à Montmartre.
Ridder (de) (Pierre-Octave), rue de Douai, 6.
Rocaché (Louis-Jules), rue d'Angoulême-du-Temple, 52.
Rogé, à Pont-à-Mousson (Meurthe).
Rohart (François-Ferdinand), rue Saint-Louis, 70, à Batignolles.

MM. Romme (Alfred), à Saint-Quentin (Aisne).
Roseau (Ubald-Ursmar), à Fives, près Lille (Nord).
Rouart, rue Ménilmontant, 149.
Roussel (Simon), rue Saint-Louis au Marais, 67.
Roussin (Étienne), rue Tronchet, 25.
Rouyer (Victor-Léandre), rue Saint-Victor, 9.
Roy (Edmond), rue Mornay, 3.
Roze (Amédée), rue du Château-d'Eau, 47.
Rubin (Arthur), rue de la Victoire, 22.
Roulz (de) O ❋ ✱, rue du Cherche-Midi, 69.
Saillard, constructeur à Nantes (Loire-Inférieure).
Saint-James, rue de la Cigogne, 5, à Rouen (Seine-Inférieure).
Salleron, à Sens (Yonne).
Salvetat (Alphonse) ❋, à la Manufacture impériale de Sèvres.
Sambuc (Jules), Widen-Hengasse, 42, à Vienne (Autriche).
Sarazin (Alfred), boulevard de Strasbourg, 89.
Saulnier (Ernest), rue Saint-Sulpice, 24.
Sautter (Louis), rue Jean-Goujon, 16.
Scellier, directeur de l'usine du Pied-Selle, à Fumay (Ardennes).
Schabaver, à Castres (Tarn).
Schivre, au Grand-Hornue, près Mons (Belgique).
Schlincker (Michel-Adolphe), à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger (Henri) ❋, au château de Guebviller (Haut-Rhin).
Schlumberger Hartemann, à Guebviller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Schneider (Eugène), G. O ❋, vice-président du Corps législatif, au Creusot (Saône-et-Loire).
Schuwab, faubourg Saint-Denis, 65.
Sébillot (Amédée), rue Blanche, 83.
Séguin (Paul), rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Ser (Louis), rue de Rivoli, 82.
Sérafon, rue de Londres, 7.
Servier (Édouard), rue des Martyrs, 33.
Sieber, rue de l'Empereur, 33, à Montmartre
Simons (Paul), à Maubeuge (Nord).
Songaylo (Adam-Ernest), rue du Parc-Royal, 6.
Stœkel (Charles), à Ahun (Creuse).
Sulberger-Ziegler, à Winterthur (Suisse).
Tardieu (Henri-Ernest), rue des Ursulines, à Valenciennes (Nord)
Tardieu (Georges), rue de Tournon, 13.
Tétard, rue Sainte-Placide, 54.
Thauvin (Pierre-Jules), rue Martel, 17.
Thétard, boulevard Magenta, 190.
Thévenet (Jules), rue de Douai, 61.

MM. THIRION (Charles), boulevard Beaumarchais, 95.
THOMAS (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.
THOMAS (Frédéric), à Cramaux (Tarn).
THOMÉ DE GAMOND, rue de Bruxelles, 34.
THOUIN (Charles) ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
THOUVENOT, à Saint-Maurice, canton du Valais (Suisse).
TOURNEUX (Félix), rue de la Michodière, 20.
TOURON (Roch-Silvain), à Amiens (Somme).
TRÉLAT (Emile) ✱, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.
TRESCA ✱ ✱ ✱ ✱, sous-directeur au Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.
TRESCA (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
TRONQUOY (Camille), rue d'Enghien, 17.
TURCK (Michel), rue d'Amsterdam, 78.
VAESSEN, directeur des ateliers de la Société Saint-Léonard, à Liége (Belgique).
VAILLANT (Marie-Édouard), à Ancy-le-Franc (Yonne).
VALENTIN (Léopold), place des Martyrs, 17, à Bruxelles (Belgique).
VALÉRIO (Oscar), rue Richelieu, 99.
VALLEZ (Alphonse), à Trith-Saint-Léger, près Valenciennes (Nord).
VALLIER (Emile), rue de l'Isly, 8.
VANDEL (Emile), aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
VAUTHIER, rue de Provence, 21.
VÉBER (DE), directeur général des chemins de fer, à Dresde (Saxe)
VÉE (Léonce-Emile), rue de Lancry, 55.
VEGNI (Angelo), à Florence (Italie).
VERDIÉ ✱, gérant des aciéries et forges de Firminy (Loire).
VERET (Jacques), quai prolongé de la Gare, 29, à Ivry.
VÉRITÉ (Augustin-Lucin), à Beauvais (Oise).
VERRINE (Louis-Justin), rue du Dauphin, 3.
VIDAL, rue des Fossés-Saint-Jacques, 20.
VIGNEAU (Guillaume), à Aiguillon (Lot-et-Garonne).
VIGREUX (Léon), rue du Château-d'Eau, 36.
VILLERMÉ, rue Saint-Martin, 292.
VINCHEN ✱, ingénieur en chef de l'État belge, à Bruxelles (Belgique).
VINCHON, rue de Milan, 8.
VINIT (Pierre-Arsène), contrôleur au chemin de fer de Lyon.
VIRON, chef de section du chemin de fer d'Orléans, à la gare, à Chatellerault (Vienne).
VORUZ aîné, à Nantes (Loire-Inférieure).
VUIGNER (Émile) O ✱ G ✱, faubourg Saint-Denis, 146.
VUIGNER (Adrien), faubourg Saint-Denis, 146.
VUILLEMIN (Emile), aux Mines d'Aniche (Nord).
VUILLEMIN (Louis-Charles) ✱, rue Réaumur, 43.

MM. Wahl ❋, rue de Bercy, 4, à Paris.
Wallaert (Auguste), à Lille (Nord).
Weil (Frédéric), rue des Petites-Écuries, 13.
West (Paul), rue de Provence, 7.
Willien (Léon), rue du Faubourg-de-Saverne, 10, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Windisch, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Wissocq (Alfred), à Charleroi (Belgique).
Wohlguemuth-Leroy, à Essonne (Seine-et-Oise).
Wolski (Antoine), ingénieur des mines d'Auriol (B.-du-Rhône).
Wurgler (André), rue de l'Empereur, 29 (Montmartre).
Xavier (Jean), rue Laffitte, 46.
Yvert (Léon), rue de Londres, 58.
Yvon-Villarceau (Antoine) ❋ ❋, à l'Observatoire.

Membres Associés.

MM. Calard (Théodore), rue Leclere, 8.
Chateau, au port Saint-Ouen.
Courlet, à Deluz, près Besançon (Doubs).
Davillier (Henri) ❋, président de la chambre de commerce, rue Roquepine, 14.
Estoublon, maître de forges, à Rosières, par Saint-Florens (Cher).
Péreire (Émile) O ❋, président du conseil d'administration du chemin de fer du Midi, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Péreire (Isaac) O ❋, président du conseil d'administration de la Société générale du Crédit mobilier, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.

Secrétaire archiviste.

Husquin de Rhéville, rue Buffault, 26.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE Ier TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1864

Séance du 8 Janvier 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. LE GÉNÉRAL MORIN, président sortant, occupe le fauteuil et prononce le discours suivant :

MESSIEURS,

En quittant le fauteuil de la présidence à laquelle vous m'avez fait l'honneur de m'appeler, mon premier devoir est de payer, à la mémoire des collègues que nous avons perdus dans le courant de l'année 1863, le juste tribut d'éloges et de regrets que nous leur devons.

Huit d'entre nous ont payé à la mort ce fatal tribut, et elle n'a choisi ni les plus âgés ni les moins distingués. La plupart d'entre eux semblaient destinés à contribuer encore longtemps à honorer par leurs travaux la Société qui les comptait dans son sein. Tant est vraie cette parole échappée de la bouche d'un de mes plus dignes camarades de l'armée, le jour où nous vîmes tomber à nos côtés, pendant une expérience de paix, le général Ardant, auquel nous devons un ouvrage si remarquable sur les Charpentes à grande portée : « Que nous devons tous nous tenir prêts à mourir. »

M. Petit de Coupray, le premier des collègues que nous avons perdus en 1863, était entré en 1813 à l'École polytechnique. Il était de cette promotion qui, abandonnant momentanément ses études pour défendre le sol de la patrie envahi par l'étranger, justifiait la belle devise que l'École portait alors sur son drapeau : *Pour la Patrie, les Sciences et la Gloire !*

Dispersés par suite des événements politiques, les élèves de cette promotion cher-

chèrent dans leur énergie personnelle les moyens de remplacer les carrières qui leur étaient fermées. C'est ainsi que Petit de Coupray, devenu ingénieur civil, après plusieurs voyages à l'étranger, fut successivement attaché au chemin de fer d'Orléans, et plus tard à la Compagnie du Nord.

Tous ceux qui l'ont connu savent quelle aménité de caractère, quelle honorabilité il savait allier à des connaissances aussi variées que profondes.

M. Faure. En vous rappelant la perte si imprévue et si douloureuse que la Société a faite au mois de juin dernier dans la personne de M. Faure, que pourrais-je ajouter à ce qui a été dit, et surtout senti par vous tous sur le vide qu'il a laissé dans nos rangs et dans notre affection ?

Vous avez tous présent à la pensée son dévouement absolu à l'art de l'ingénieur, à notre Société, et son plus bel éloge est dans le souvenir que vous conservez et conserverez longtemps de sa mémoire.

M. Guibal, après de longues études, a laissé de sa carrière d'ingénieur, prématurément interrompue par la mort, une œuvre qui préservera son nom de l'oubli. Successeur d'un ingénieur illustre, M. D'Aubuisson, qui avait doté la ville de Toulouse d'un beau système de distribution d'eau, et la science de nombreux résultats d'observation, M. Guibal, pour satisfaire à des besoins devenus de plus en plus considérables, fut chargé d'étudier de nouveau la question, et de proposer un projet plus vaste et plus complet.

Ce projet, conçu et en partie exécuté par M. Guibal, a procuré à la ville de Toulouse un service comprenant plus de 400 fontaines publiques, et une distribution d'eau à tous les étages. Il assure à la mémoire de son auteur la reconnaissance de cette ville, et une place distinguée parmi les hommes qui ont su faire servir la science au bien de l'humanité.

M. *Steger*, né à Thann (Haut-Rhin), 10 août 1823, fut élevé à Zurich et fit ses premières études en mécanique sous la direction et dans les ateliers de M. Escher.

Attaché plus tard à la maison A. Kœchlin, de Mulhouse, il s'y occupa principalement de l'installation des moteurs hydrauliques, des ateliers de filature et de tissage. L'expérience qu'il avait acquise dans ces derniers travaux et dans un séjour assez prolongé qu'il fit, en 1851, à l'Exposition de Londres, ayant appelé l'attention de M. Alcan, il devint pendant quelque temps préparateur du cours de ce professeur, au Conservatoire des arts et métiers ; mais les fonctions d'inspecteur de la traction qu'il occupait en même temps au chemin de fer d'Orléans l'obligèrent à renoncer bientôt à celles de préparateur du cours de filature.

Son séjour à Londres, en lui permettant d'étudier l'exposition à divers points de vue, le mit à même de présenter à la Société un travail intéressant où il fit preuve de connaissances variées.

On lui doit plusieurs études sur un système de ponts militaires dont les corps de support étaient des cylindres en caoutchouc ; un projet de monte-charges hydraulique, analogue à ceux de M. Armstrong, celui de scieries à double chariot, etc., etc.

Attaché pendant longtemps au chemin de fer d'Orléans, il aida puissamment M. Polonceau dans ses études expérimentales sur les locomotives et sut se rendre fort utile à cette compagnie dans des circonstances importantes. Les nombreux voyages qu'il avait faits, sa connaissance de plusieurs langues lui avaient permis de recueillir des données très-variées, et son amour de l'étude en aurait fait un ingénieur des plus distingués si la mort n'était venue interrompre, à l'âge de 40 ans, une carrière déjà bien remplie et riche d'avenir.

M. *Thaurin*, après avoir débuté par des travaux d'architecture, fut successivement attaché aux chemins de Rouen au Havre et de Rouen à Dieppe, à celui de l'Est où il parvint aux fonctions de chef de section. Dans ces divers emplois, il sut par son zèle et son intelligence mériter l'estime et l'affection de ses chefs.

M. *Brocchi*. Élève de l'École centrale, M. Brocchi débuta d'abord comme simple ouvrier dans les ateliers du chemin de fer d'Orléans, où il devint plus tard inspecteur du matériel. Il fut chargé ensuite de la direction de l'atelier de construction du matériel des chemins de fer de M. Servel; enfin ses connaissances variées en tout ce qui concerne l'outillage des ateliers l'avaient désigné au choix d'un grand établissement d'Alsace pour lui servir de représentant.

Il commençait à recueillir le fruit de ses longues études, lorsque la mort vint l'enlever à l'affection de sa famille et aux travaux de la Société, dans le sein de laquelle il a laissé les meilleurs souvenirs.

M. *Delpèch*, élève de l'École des arts et métiers d'Angers, sorti en 1833 avec le n° 1, débuta comme dessinateur chez M. Philippe et passa ensuite aux ateliers de M. Cavé.

Devenu directeur de l'usine de M. Stehclin à Bitschwiller (Haut-Rhin), et plus tard ingénieur chez MM. Halette d'Arras, il s'y livra complétement à l'étude de la construction des machines à vapeur de tous genres.

Après avoir été chef du mouvement au chemin de Boulogne, il était ingénieur du matériel, et plus tard ingénieur principal du chemin de Paris à Lyon, lorsque la Société a perdu le concours de ses lumières et de sa longue expérience.

M. *Doyère*, mort le 16 octobre 1863, avait été professeur de zoologie appliquée à l'École centrale, et de tous ses travaux scientifiques le plus important, et celui qui présente l'intérêt le plus direct pour la Société des ingénieurs civils, est son ouvrage sur la conservation des grains par l'ensilage.

Partant des principes suivants:

1° Que les grains pour se conserver dans des silos ou ailleurs doivent être dans un certain état de siccité;

2° Que les silos ne doivent donner accès ni à l'humidité ni à l'air atmosphérique;

3° Que les silos doivent être souterrains, parce qu'une température basse comme celle des caves et des puits ne favorise ni le développement de la fermentation, ni l'activité et la multiplication des insectes.

M. Doyère, reconnaissant que les maçonneries les plus parfaites sont perméables, même quand les pressions intérieures et extérieures sont sensiblement les mêmes, se prononça contre l'emploi exclusif de la maçonnerie dans la construction des silos et proposa de leur donner une paroi intérieure métallique.

Après plusieurs voyages en Espagne, au Maroc et en Algérie, où il observa attentivement les dispositions qui assuraient le succès de l'ensilage des blés, plus convaincu que jamais de la nécessité de satisfaire à la condition de l'imperméabilité, il arrêta ses idées sur la construction des silos souterrains en maçonnerie et à parois métalliques intérieures, hermétiquement fermés.

Les résultats des expériences que M. Doyère a publiées en 1862 paraissent assez concluants pour que l'on puisse regarder la solution qu'il a proposée comme satisfaisant aux conditions de la conservation des blés pendant une période de quatre à cinq ans au moins. Si la facilité actuelle des communications rend aujourd'hui cette question moins importante pour les pays qui possèdent une marine nombreuse et des che-

mins de fer, elle peut encore avoir beaucoup d'intérêt pour l'Algérie et pour les contrées de grande production.

Sous ce rapport les travaux persévérants de M. Doyère recommanderont sa mémoire à tous les amis de l'agriculture.

Travaux de la Société en 1863. — Acier. — Le développement qu'a reçu depuis quelques années la fabrication de l'acier, les perfectionnements remarquables dans la qualité de ce produit métallurgique ont conduit les ingénieurs et les constructeurs de machines de tous genres à en étendre l'emploi et à le substituer au fer dans un grand nombre de cas.

Mais si les qualités de l'acier sont incontestées, la régularité de sa fabrication présente encore d'assez grandes difficultés pour que les opinions aient été, jusque dans ces derniers temps, assez divisées sur l'opportunité de cette substitution.

Une communication de notre collègue, M. Nozo, a provoqué à ce sujet des discussions qui se sont prolongées pendant plusieurs séances et qui, tout en servant à éclairer la question et à indiquer plus nettement les circonstances dans lesquelles il peut évidemment y avoir lieu de préférer l'acier au fer, et réciproquement, ont laissé quelques points indécis.

Des expériences ayant pour objet de déterminer non-seulement les limites de l'élasticité et de la résistance à la rupture, mais surtout les quantités de travail opposées dans l'un et l'autre cas par chacun de ces métaux, en choisissant pour types des échantillons de très-bonne qualité dans les deux cas, nous ont paru nécessaires.

Grâce au concours que nous ont prêté les ingénieurs du chemin de fer du Nord, pour la préparation de barres parfaitement régulières, nous avons pu exécuter une partie de ces expériences et nous vous en ferons prochainement connaître les résultats.

Nous nous proposions aussi d'étudier la résistance des mêmes métaux aux effets de choc longitudinal, mais les dimensions des échantillons préparés ne nous l'ont pas permis. Nous aviserons à nous en procurer de plus petits également comparables quant à la qualité.

Dans nos séances des 6 et 20 février, notre regretté collègue Faure nous avait entretenus de la comparaison des services de navigation à vapeur établis sur les canaux en concurrence avec celle qui se fait par le halage. Ses aperçus ingénieux, basés sur des observations déjà nombreuses et les tentatives poursuivies par diverses entreprises particulières donnent un grand intérêt à cette question, dont Faure se proposait de continuer l'étude. Espérons que, plus heureux que lui, quelqu'un de nos collègues pourra la reprendre et fournir à l'industrie des transports une solution complète.

Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse. — Si jusqu'ici l'emploi des machines fixes et des plans inclinés à grande pente n'a été limité qu'à des cas exceptionnels, et a présenté des difficultés qui en ont fait beaucoup restreindre l'usage, l'essai tenté à l'aide de dispositions nouvelles et ingénieuses par nos collègues, MM. Molinos et Pronnier, pour établir un service régulier entre le faubourg de la Croix-Rousse et la ville de Lyon n'en est que plus digne d'attention.

L'expérience de deux années a prouvé que les dispositions adoptées par ces habiles ingénieurs offraient toutes les garanties désirables de sécurité et d'exactitude dans le service.

L'usure des câbles semble cependant un peu prompte, et laisserait quelque chose à désirer; mais des dispositions nouvelles proposées et déjà essayées par un de nos

collègues d'Italie, M. Agudio, permettent d'espérer, sous ce rapport, une amélioration que M. Molinos a été chargé d'examiner, et dont il a rendu compte à la Société.

Chemins de fer en pays de montagnes. — Notre éminent collègue, M. E. Flachat, dans un mémoire ayant pour objet la comparaison des conditions de l'exploitation de chemins de fer tracés en pays de montagnes, avec des pentes de 0,015 par mètre, et de 0,025 par mètre, a montré dans quelles circonstances on devait accorder la préférence à l'une ou à l'autre inclinaison.

L'autorité de l'auteur, fruit d'une longue expérience des conditions du service, donne à ce travail une importance considérable à une époque où, après avoir construit nos grandes lignes principales, nous nous voyons conduits, par l'intérêt des populations, à multiplier les chemins de second, de troisième, et peut-être de quatrième ordre, en les construisant dans des conditions d'établissement et d'exploitation de plus en plus économiques et modestes.

Les mêmes difficultés qu'offre la construction des chemins de fer en pays de montagnes, et en particulier les divers projets à l'étude, ainsi que les travaux en cours d'exécution au mont Cenis, ont conduit M. Toni Fontenay à rechercher des moyens sûrs et économiques pour la construction et l'aérage des grands tunnels.

Il serait vivement à désirer que ces études fussent appliquées en grand, comparativement avec les procédés si ingénieux et si remarquables employés déjà au percement du mont Cenis.

Charbons agglomérés. — Une note fort intéressante vous a été lue dans la séance du 4 septembre par M. H. Mathieu sur la machine Jarlot, employée au chemin du Midi, pour la préparation des briquettes de charbons agglomérés. Cette machine, d'une construction fort simple, a été exécutée dans les ateliers de M. Voruz, de Nantes.

La nécessité de plus en plus impérieuse où se trouvent les compagnies de chemins de fer de réduire les frais d'exploitation donne à ces procédés, qui permettent d'utiliser des débris jusqu'ici sans valeur, une assez grande importance. J'ajouterai que, pour les foyers ordinaires de machines à vapeur, l'emploi de ces briquettes paraît être aussi avantageux que pour ceux où l'on a recours à un tirage forcé.

L'immense développement que prend dans nos grandes cités le service de l'éclairage au gaz donne à toutes les questions qui se rattachent au mouvement des fluides aériformes une importance croissante.

L'étude des pertes de gaz dans les conduites principales, et celle de résistances que le fluide éprouve de la part des parois, ne pouvaient manquer d'appeler l'attention des ingénieurs de la Compagnie générale de l'éclairage au gaz.

Mouvement du gaz. — Un travail fort intéressant, présenté par M. Arson, a été l'objet de notre examen dans les séances du 4 septembre et du 2 octobre. De ces premières expériences l'auteur a cru pouvoir conclure, de même que feu M. Darcy l'avait déduit de ses recherches sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite, que la résistance des parois dépend de leur nature et du diamètre des conduites. Cette conclusion, contraire aux règles admises jusqu'ici, d'après les expériences de Girard et de d'Aubuisson, étant d'une assez grande importance pour l'art de l'ingénieur, il était bon que de nouvelles expériences, faites dans des conditions plus variées, et avec divers moyens comparatifs d'observation, fussent entreprises, non-seulement pour généraliser les résultats déjà obtenus, mais encore en vue de résoudre d'autres questions intéressantes, relatives au mouvement des fluides aériformes. Il avait été entendu

que ces expériences seraient continuées avec notre concours, mais nous ignorons encore la suite qui a pu leur être donnée. Nous espérons cependant qu'elles auront eu une suite, et que les habiles ingénieurs qui les auront poursuivies feront profiter l'art et les sciences des résultats auxquels ils seront parvenus.

Fonte malléable. — La transformation directe de la fonte plus ou moins carburée en fer malléable, et même en acier, a, depuis la fin du siècle dernier, fait l'objet de nombreuses recherches et même de beaucoup de tentatives industrielles. Après bien des essais plus ou moins infructueux, elle a fini par devenir l'objet de fabrications importantes, et aujourd'hui une grande partie des menus qui étaient les produits de la serrurerie, de l'éperonnerie, de la quincaillerie, etc., sont coulés en fonte et rendus plus ou moins malléables par des procédés peu différents.

Ces produits sont, quoi qu'en disent les fabricants, très-inférieurs à ceux que l'on obtient avec le fer; et présentent parfois d'assez grandes irrégularités; mais ils n'en sont pas moins utiles à étudier.

Ils ont fait l'objet d'une communication intéressante, surtout au point de vue historique, que nous devons à notre collègue M. Brüll, qui sait donner à toutes ses recherches le double caractère scientifique et pratique qui rentre si bien dans le but de notre institution.

Après avoir passé trop rapidement en revue les principaux travaux qui ont occupé les séances de la Société pendant l'année 1863, permettez, je vous prie, Messieurs, au président qui quitte votre fauteuil pour aller occuper celui de l'Académie des sciences, d'insister auprès de vous pour que, dans tout le cours de vos recherches, vous ne perdiez jamais de vue le lien scientifique de tous les faits que vous observerez, de toutes les questions que vous traiterez.

Voué depuis trente-cinq ans et sans relache aux études de mécanique expérimentale qui se rattachent le plus immédiatement à l'art de l'ingénieur, j'ai toujours senti la nécessité de baser mes recherches ou d'en lier les résultats conformément aux vrais principes de la science.

Sans doute, il faut se garder de ces doctrines préconçues à l'aide desquelles, négligeant plus ou moins les propriétés physiques des corps, trop d'hommes d'étude prétendent découvrir les lois des phénomènes naturels sans sortir de leur cabinet. Mais il est toujours bon et utile, en entreprenant de nouvelles recherches, d'y procéder avec méthode, de se rendre compte de l'influence des divers éléments qui peuvent agir sur les résultats, afin de se tracer à l'avance la voie dans laquelle il convient d'avancer.

Lorsqu'à l'inverse les résultats sont obtenus, leur discussion, pour laquelle les représentations géométriques sont si souvent d'un grand secours, permet d'abord de reconnaître la marche générale des phénomènes, parfois même d'en déterminer les lois qu'elle rend évidentes; mais, dans tous les cas, elle présente au moins l'avantage de soumettre les résultats obtenus à la continuité, et d'écarter de suite les anomalies.

Les principes de la mécanique et de l'analyse interviennent ensuite pour la discussion finale, et quand les ressources de celle-ci deviennent insuffisantes, la géométrie, par ses tracés, par les méthodes de quadrature et de cubature, permet encore presque toujours d'arriver à des résultats sinon rigoureux, du moins presque toujours suffisamment exacts pour la pratique de l'ingénieur.

Pardonnez-moi, Messieurs, cet exposé doctrinal de la marche à suivre que je me

permets de faire devant tant d'ingénieurs qui ont fourni leurs preuves en fait de science et de méthode. Je parle pour les plus jeunes d'entre vous, et vous savez que la vieillease aime à donner des conseils.

Une autre condition de succès dans les recherches scientifiques comme dans toutes les autres circonstances de la vie, et surtout dans la carrière de l'ingénieur, c'est la persévérance, c'est la force de la volonté. Par elle on surmonte les obstacles que la nature, et, plus souvent encore, les hommes opposent à la réalisation des idées, des projets les mieux conçus. J'en ai près de moi, dans l'éminent collègue qui me succède, un exemple qui me dispense de toute autre preuve.

Si le chemin du Nord est, de l'aveu à peu près unanime du public et je pourrais même dire de celui de la plupart des ingénieurs, celui qui fonctionne le plus régulièrement et qui se prête en même temps le plus à l'étude et à la réalisation de tous les progrès sérieux, il le doit pour une large part à cette ténacité, à ce dévouement de tous les instants qui distinguent son ingénieur en chef.

Puissent, Messieurs, ces conseils, dictés par le sentiment de la reconnaissance que votre confiance m'a inspirée, être goûtés par ceux d'entre vous qui débutent dans la carrière et puissent-ils les conduire à des succès auxquels je serai toujours heureux et fier d'applaudir!

M. Petiet remplace M. le général Morin au fauteuil de la présidence.

Messieurs,

Il y a onze ans, lorsque vous m'avez fait l'honneur de m'appeler, une première fois, à la présidence de notre Société, je me souviens que je ressentais une émotion profonde en vous exprimant tous mes remercîments et en vous assurant tout mon concours.

Aujourd'hui, Messieurs, quoique vieilli dans les affaires, je crains bien davantage de ne pas être à la hauteur de la mission que j'ai sollicitée et que vous m'avez confiée avec une unanimité qui m'a profondément touché.

Il y a longtemps que j'ai quitté les bancs; depuis mes débuts, la science a fait d'immenses progrès. Je me suis tenu au courant, lorsque, collaborateur de M. Eugène Flachat, j'étudiais et je dirigeais des travaux de toutes sortes. Mais depuis plus de vingt années, je suis attaché aux chemins de fer, et je me suis peut-être trop spécialisé, d'autant plus que mes principales occupations sont administratives plutôt que scientifiques.

Le sentiment de mon insuffisance s'augmente encore, en songeant que je succède à un membre de l'Institut, qui, par le choix de ses illustres confrères, est appelé à présider, cette année, notre premier corps savant, l'Académie des sciences.

Je réclame donc, dès à présent, toute votre indulgence, et j'espère que les nombreux amis que je compte parmi vous auront égard à la bonne volonté dont je suis animé, et apprécieront le dévouement que j'apporterai à vos intérêts et à votre considération.

L'an dernier, dans la séance d'installation, notre honorable collègue, M. Tresca, vous annonçait la formation de l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, et vous donnait l'assurance positive que ce ne serait pas une concurrence pour notre Société, puisque l'Association amicale n'aurait aucune discussion technique.

Permettez-moi, Messieurs, de vous confirmer de la manière la plus explicite cette déclaration, en faisant ressortir que, sur les vingt membres élus formant le comité de l'Association amicale, onze font également partie de notre comité, les autres sont tous membres de la Société.

Non-seulement l'Association amicale ne portera aucun préjudice à notre Société, mais elle sera pour elle, j'en suis sûr, un élément sérieux de développement et de succès.

Restons unis, si nous voulons être forts ; ne nous préoccupons pas, lorsqu'il s'agit de notre profession, de l'origine de chacun de nous. Accueillons les jeunes gens qui commencent leur carrière dès qu'ils justifient de leurs titres, et offrons-leur les facilités qu'ils sollicitent pour se rencontrer plus souvent et plus intimement.

Nous verrons ainsi notre Société grandir de plus en plus comme elle le mérite. Le général Morin, en consentant à diriger nos travaux pendant une année tout entière, a aidé autant que personne la Société des Ingénieurs civils à prendre parmi les sociétés savantes la place qui lui appartient.

Pour être plus spécialement voués aux applications industrielles, les Ingénieur n'en sont que plus strictement obligés à interpréter sainement les règles que la science enseigne, et cette alliance si nécessaire de la théorie et de la pratique ne pouvait être assurément mieux personnifiée à la présidence de la Société que par le savant dont les ouvrages nous servent aujourd'hui de guide dans tous les calculs de résistance, et dans la détermination des dimensions principales de nos constructions.

Remercions donc M. Morin des soins qu'il a bien voulu apporter à nos affaires, et de la nouvelle consécration que donne à la Société son nom inscrit parmi ceux de nos présidents; nous pensons qu'il nous permettra de lui demander la continuation de son précieux concours, en proposant à la réunion de lui donner le titre de Président honoraire.

L'Assemblée, à l'unanimité, accepte la proposition de M. Petiet. En conséquence, M. le général Morin est proclamé président honoraire de la Société.

M. LE GÉNÉRAL MORIN remercie l'Assemblée de l'honneur qui lui est fait, et promet un concours dévoué à tout ce qui peut être avantageux pour la Société.

M. LAURENT donne ensuite communication des travaux de sondage exécutés sous sa direction et celle de M. Degousée à l'hôpital de la marine à Rochefort.

Nous avons été chargés, dit M. Laurent, par le ministère de la marine d'exécuter à l'hôpital de la marine à Rochefort un sondage dont le but est la recherche d'eaux jaillissantes ou ascendantes nécessaires aux besoins de cet établissement.

D'après certaines données géologiques, l'administration espérait primitivement atteindre le résultat cherché avant 200 mètres, à la base des grès verts ou terrain cénomanien sur lequel repose cette ville, ou peut-être à la base des argiles de Kimméridje. On a été déçu dans cette espérance, et le sondage a été poursuivi jusqu'à une profondeur qui a dépassé 635, sans que le résultat cherché fût obtenu.

Comme forage, ce travail, par les terrains traversés, par sa profondeur et sa marche, renferme quelques faits assez intéressants au point de vue de l'industrie des sondages.

Comme on le voit par la coupe, le sondage n'a encore traversé qu'une partie du terrain venant en affleurement entre Rochefort et Niort; il est en ce moment, selon toute probabilité, vers la base de l'oxford-clay. Il n'existe dans la série aucune des

roches perméables dans lesquelles les eaux puissent circuler. La seule chance favorable consiste donc dans la rencontre d'une de ces fissures assez fréquentes dans les calcaires jurassiques, ou peut-être dans les grès liassiens; mais il est probable que ceux-ci sont à près de 900 mètres, si, comme tout le fait supposer d'après les affleurements, aucun terme de la série ne vient à manquer sous Rochefort.

On a reconnu la différence très-grande qui existe dans l'épaisseur des terrains jurassiques dans le bassin pyrénéen, laquelle est quatre ou cinq fois plus grande qu'on ne la connaît dans le bassin parisien pour certaines séries.

Dans le travail, sauf quelques arrêts nécessités par des éboulements, des descentes de tubes, des modifications au matériel ou quelques réparations, il n'y a eu que des retards insignifiants comme accidents réels de sondage; non que ceux-ci n'aient eu lieu quelquefois avec quelque gravité, mais leur réparation a toujours été assez prompte pour que la régularité de l'avancement du sondage ne soit pas sensiblement troublée. On a reconnu que l'idée assez vraie que l'on avait autrefois, qu'avec la profondeur le travail devenait de plus en plus lent, a cessé d'être rigoureusement exacte. La profondeur n'est plus aujourd'hui une difficulté aussi sérieuse, la dureté des roches, pourvu qu'elle ne soit pas excessive, n'influe pas non plus d'une manière sensible sur l'avancement de la sonde; les manœuvres seules sont plus longues, et partant plus coûteuses.

Les véritables difficultés consistent toujours dans la mobilité des terrains, surtout lorsqu'on ne veut pas multiplier les tubages, moyen commode, mais ne rachetant la rapidité de l'exécution qu'à un prix onéreux ou par une réduction trop prompte du diamètre du forage, inconvénient qui peut entraver ou annuler l'avenir d'un sondage. Telle eût été, dans le cas présent, la situation, puisque le premier traité n'exigeait qu'un diamètre de $0^m,40$ à 200 mètres, diamètre qui, s'il eût été rigoureusement observé, n'eût certes pas permis la continuation du travail à 6 ou 700 mètres et peut-être plus.

Ce sondage, commencé le 8 avril 1861, au diamètre de $0^m,30$, était à 600 mètres le 8 décembre 1863, au diamètre de $0^m,25$.

Voici la répartition du temps employé :

		JOURNÉES EMPLOYÉES.		
		Utilisées.	Perdues.	Totales.
Du sol à 100 mètres	(8 avril au 1er septembre)	118	27	145
De 100 à 200 —	(1er septembre au 5 février)	125	33	158
De 200 à 300 —	(5 février au 3 juillet)	123	25	148
De 300 à 400 —	(3 juillet au 22 décembre)	153	15	172
De 400 à 500 —	(22 décembre au 5 juin)	132	31	163
De 500 à 600 —	(5 juin au 8 novembre)	128	29	157
		783	160	943

Dans la première période, de 100 mètres, 27 jours ont été perdus pour vaincre des éboulements.

Dans la seconde, de 100 à 200, 33 jours ont été occupés, quelques-uns à vaincre les éboulements, les autres au tubage et nettoyage du sondage pour pousser la colonne en terrain solide.

Dans la troisième période, de 200 à 300, les 25 jours distraits du fonçage ont été employés au montage d'un treuil à vapeur et à la construction du fourneau de la chaudière.

Dans la quatrième période, de 300 à 400, on n'a perdu que 15 jours : 11 pour refaire un bâtis du treuil cassé, et 4 pour nettoyage de la chaudière et modifications au fourneau.

Dans la cinquième période, de 400 à 500, 34 jours ont été distraits du fonçage régulier : 5 pour nettoyage de la chaudière, 6 pour remplacement d'un balancier, 12 pour la rupture d'un axe du treuil et par le bris des sondes.

Enfin dans la sixième période, de 500 à 600 mètres, il y a eu, sur les 29 jours perdus, 5 pour nettoyage de la chaudière, 24 pour trois accidents, une rupture de chaîne et deux ruptures de sonde, dont l'une avait provoqué une chute de 83 mètres et un bris en vingt et quelques morceaux.

Comme on le voit, les accidents réels, bien que nous n'ayons indiqué que ceux qui ont une certaine importance, n'ont entraîné qu'une assez faible perte de temps. Nous devons à ce sujet rendre bonne justice au soin et à l'intelligence avec lesquels M. Dez, l'un de nos jeunes coopérateurs, a dirigé ce sondage. C'est à son esprit attentif, observateur et prudent, que nous sommes redevables de leur peu de fréquence réelle et du succès toujours constant de leur prompte réparation.

M. Molinos donne ensuite communication de son rapport sur le nouveau système de traction sur plans inclinés au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur funiculaire de M. Agudio.

Le nouveau système de traction, proposé par M. Agudio pour les plans inclinés, constitue à nos yeux le plus important perfectionnement qui ait été apporté à ce moyen de transport depuis son introduction dans la construction des chemins de fer. Il s'offre à l'examen de la Société dans des conditions toutes spéciales dignes du plus grand intérêt ; car l'étude théorique très-complète que M. Agudio présente à l'appui de son système a reçu la consécration de l'expérience. Le système de M. Agudio a été appliqué sur un plan incliné de 27 millim. à 32 millim. de pente, et de 2400 mètres de longueur établi sur une portion abandonnée de la ligne de Turin à Gênes (à Dusino). La dépense occasionnée par cet essai en grand a été supportée en partie par le gouvernement italien, en partie par une société promotrice du système, composée d'hommes qui occupent des positions éminentes en Italie.

De nombreux essais ont eu lieu en présence de commissions nommées par le gouvernement italien, par l'Institut royal de Milan et une société anglaise. Ils ont tous donné les résultats les plus satisfaisants.

Dans le système employé jusqu'à ce jour, le câble remplit une double fonction ; il retient le convoi sur le plan incliné et lui communique le mouvement ascensionnel. Ces deux fonctions simultanées lui imposent, quant à sa dimension, des exigences contradictoires ; car, pour assurer la sécurité du convoi, il faut lui donner une section et un poids assez considérables pour le mettre à l'abri de toute rupture, tandis qu'au point de vue de l'économie du travail développé, son poids devrait être le plus petit possible afin de réduire à sa plus faible expression la somme des résistances passives qui proviennent de la roideur et du frottement du câble dans sa marche.

Pour faire disparaître cette contradiction, en satisfaisant cependant aux conditions exigées, M. Agudio a imaginé de substituer au câble unique deux câbles distincts, indépendants l'un de l'autre : l'un est destiné à assurer la sécurité du train remorqué, l'autre joue le rôle de câble moteur.

Le premier câble a une section très-forte pour parer à toute éventualité ; il est fixe et immobile au milieu de la voie et sert à donner le point d'appui au convoi. Ce câble, appelé par l'auteur *câble d'adhérence*, fait l'effet d'un *câble toueur*, car il passe deux

fois sur les gorges de deux tambours disposés sur l'axe longitudinal d'un chariot placé à la queue du train. La rotation de ces tambours, produite, comme nous allons le voir, par le mouvement de l'autre câble, les force à se développer sur le câble d'adhérence, ce qui détermine l'avancement du convoi, par un système identique à celui du touage sur chaîne noyée.

La question de sécurité est ainsi amplement satisfaite; en premier lieu, à cause de la force et de la solidité exceptionnelle du câble d'adhérence, ensuite, à raison de son immobilité qui le préserve de la détérioration plus ou moins rapide à laquelle il est condamné dans le système à traction directe.

L'autre câble, dit *câble moteur*, doit servir à transmettre la force des machines fixes à distance sur le convoi, pour lui imprimer le mouvement ascensionnel. Ce câble, au lieu d'être fixe et formé d'un seul bout comme le câble d'adhérence, est un câble sans fin reposant sur deux rangées de poulies placées de chaque côté du câble toueur. Un brin de ce câble remonte le plan incliné tandis que l'autre descend, et afin de réduire autant que possible les résistances passives dues à son mouvement, sa section et son poids par mètre courant peuvent être restreints dans des limites aussi étroites que l'on veut, au moyen de la disposition que nous allons décrire.

Au lieu d'employer un seul moteur comme dans le système ordinaire, M. Agudio fait usage de deux moteurs de même force, dont l'un est placé en bas de la rampe et l'autre à son sommet. Le moteur supérieur, au moyen d'un appareil ordinaire de poulies motrices, tire en haut le brin ascendant, tandis que le moteur inférieur tire en bas le brin descendant du même câble sans fin.

A chaque extrémité du plan incliné, le câble est guidé et tendu par la poulie d'un tendeur placé derrière l'appareil des poulies motrices.

Sur le chariot qui porte les tambours de touage (chariot que M. Agudio appelle *locomoteur funiculaire*) sont installées deux couples de poulies, l'une à droite, l'autre à gauche des tambours, et placées dans le même plan vertical que chacun des brins du câble moteur. Les gorges de ces deux couples de poulies sont entourées par les deux brins du câble, qui, marchant en sens contraire, déterminent un mouvement de rotation en sens opposé dans chaque couple de poulies.

On conçoit que le câble moteur s'enroule sur chaque couple de poulies absolument comme le câble d'adhérence sur les tambours, et la chaîne sur les treuils du touage. Dans chaque couple de poulies il en est une qu'on peut appeler motrice, parce qu'en effet au moyen d'un embrayage Kœchlin et de deux engrenages ou roues à friction, elles communiquent le mouvement aux tambours et déterminent l'ascension du train.

Par cette disposition, on utilise pour la traction le brin descendant du câble, qui, dans l'ancien système, ne produisait pas de travail, ou, en d'autres termes, l'effort qui se portait sur un seul brin du câble sans fin est ici divisé en parties égales sur les deux brins, ce qui permet déjà de donner au câble une section moitié moindre. En outre, il n'est plus nécessaire que la vitesse du câble moteur soit égale à celle du convoi. La transmission du mouvement des poulies du locomoteur au tambour peut se faire dans des rapports de vitesse bien différents entre eux; ainsi, l'on peut donner aux poulies une vitesse de rotation trois ou quatre fois plus forte que celle des tambours. Il s'ensuit que la tension longitudinale, qui est déjà réduite à moitié par le concours des deux brins à la traction, est, par cette nouvelle disposition, réduite au tiers ou au quart, suivant le rapport adopté entre les diamètres des poulies et des engrenages, et elle deviendra, en définitive, le 1/6e ou le 1/8e de ce qu'elle serait dans un système à traction directe.

Le câble n'aura donc plus, par mètre courant, que le 1/6e ou le 1/8e du poids qu'on était forcé de lui donner anciennement pour remorquer le même convoi, et il est bien clair qu'on pourrait diminuer encore ce rapport si on le jugeait utile.

Cette disposition, excessivement remarquable, constitue l'essence de l'invention de M. Agudio.

Par la substitution de deux câbles distincts au câble unique, qui répond très-imparfaitement aux conditions contradictoires de sécurité du convoi et d'économie du travail, M. Agudio peut accroître à son gré la section du câble d'adhérence, tandis qu'il diminue les résistances passives en même temps que la section du câble moteur.

Le système de M. Agudio permet d'accroître simultanément la longueur et la pente des plans inclinés.

Il augmente la sécurité du convoi remorqué, par la meilleure conservation du câble d'adhérence résultant de son immobilité, et par la possibilité de diriger les trains indépendamment du moteur.

Il permet d'augmenter le poids des trains remorqués.

Pour les fortes rampes, au-dessus des limites fixées aux machines locomotives, il sera supérieur à tous les autres systèmes d'exploitation connus jusqu'à ce jour, non-seulement aux locomotives, mais encore aux plans inclinés à traction directe, sur lesquels il aura l'avantage d'un plus grand effet utile et d'un moindre entretien; il permet de plus, dans certains cas, d'utiliser la force motrice de l'eau au moins pour la machine placée à la partie inférieure du plan incliné.

Enfin le tracé peut admettre des courbes qui sont interdites aux plans inclinés à traction directe.

L'emploi des locomotives sur les rampes est limité à une pente maxima sur laquelle les ingénieurs ne sont pas parfaitement d'accord. Mais nous croyons faire une part très-large à toutes les opinions en avançant qu'une exploitation par locomotive ne peut pas s'établir avec des avantages industriels sur une rampe dépassant 60 millimètres par mètre; et que cette rampe ne pourrait être franchie que très-exceptionnellement, sur de faibles longueurs et avec des moteurs spéciaux qui n'ont pas encore été réalisés. C'est là la limite de traction par adhérence sur le rail.

En appliquant au remorquage d'un convoi le touage, ou tout autre procédé fondé sur un accroissement artificiel d'adhérence, cette limite de pente peut être reculée, mais non pas autant qu'on pourrait le croire au premier abord. Avec une rampe de 11 à 12 centimètres par mètre, le moteur aurait à peu près la force de se remonter lui-même; c'est dire que dans le voisinage de cette pente, le travail disponible serait excessivement faible, et le rendement du système très-mauvais. C'est le motif pour lequel le touage appliqué directement au remorquage des trains ne peut fournir une solution avantageuse.

Mais si on considère le système de M. Agudio dans son ensemble, on reconnaît qu'il procède des deux idées, du touage et de la traction par machine fixe. C'est en effet un système de touage dans lequel les treuils seuls accompagnent le convoi, l'effort moteur leur étant communiqué à distance au moyen d'une machine fixe. C'est une idée ingénieuse et féconde qui doit faire pénétrer les plans inclinés dans la pratique des chemins de fer, et leur attribuer un rôle nouveau et utile dans les passages de montagnes.

MM. Gerber et Blanleuil ont été reçus membres de la Société.

Séance du 22 Janvier 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ résume la note qu'il a présentée à la Société sous le titre de *Note sur un Théorème de géométrie.*

Voici l'énoncé du théorème de M. Desmousseaux de Givré.

Toute déformation d'un élément infinitésimal se réduit :

1° *A une rotation* (changement d'orientation, mais non de forme);

2° *A une déformation proprement dite, résultant de trois dilatations ou contractions suivant trois axes rectangulaires généralement déterminés.*

C'est un théorème de pure géométrie, convenant à *tout milieu,* solide, fluide, visqueux, etc., homogène ou non.

Sans entrer dans le détail de la démonstration, qui est d'ailleurs d'une extrême simplicité, l'auteur mentionne quelques applications relatives aux solides homogènes :

1° *Réduction immédiate des coefficients qui caractérisent les propriétés élastiques, à deux seulement.*

En effet, toutes les déformations, étant ramenées à des phénomènes de traction ou compression, dépendent évidemment de deux coefficients de substance, à savoir :

Le coefficient d'*élasticité de traction de compression;*

Le coefficient de contraction ou dilatation suivant deux axes perpendiculaires à celui de traction ou compression.

2° *Représentation graphique des propriétés élastiques des corps.*

Lorsqu'on a déterminé pour un corps les deux coefficients de substance, il faut, pour compléter la connaissance de ses propriétés élastiques, chercher à quelles limites ces déformations cessent d'être élastiques pour devenir permanentes.

La réduction de toutes les déformations à trois dilatations ou contractions U, V, W, suivant trois axes perpendiculaires, démontre que les limites d'élasticité sont définies par une surface que représenterait une certaine équation

$$F(U_1 V_1 W_1) = o.$$

Ainsi, pour deux déformations déterminées $U_1 V_1$, cette équation donnerait la limite correspondante de W :

$$W_1 = \rho (U_1 V_1).$$

3° *Application à la torsion.*

Prenant pour exemple la torsion d'un cylindre à base de cercle, l'auteur fait voir que, pour un élément situé à la surface, il y a en résumé dilatation suivant une hélice inclinée à 45 degrés, et contraction suivant une autre hélice perpendiculaire à la première; en sorte qu'il y a lieu de présumer que les cassures causées par une torsion doivent s'étendre au moins en partie suivant des hélices inclinées à 45 degrés; et c'est précisément ce que l'expérience vérifie sur les matières les plus diverses, depuis

le simple bâton de craie ou de cire à cacheter, que l'on casse à la main, jusqu'au fer et à l'acier.

Inversement, à l'aspect d'une cassure, on peut dire quels sont les efforts sous lesquels une pièce a cédé : ainsi, par exemple, les fils des ressorts à boudin cassant suivant des hélices inclinées d'environ 45 degrés, il est vérifié par là que ces fils travaillent presque uniquement par torsion; et c'est, en effet, ce qui était clairement établi dans une théorie communiquée récemment à la Société par M. Révin.

4° *Démonstration immédiate du théorème de M. Clapeyron.*

Cette application n'est indiquée que pour mémoire : l'auteur ajoute que le théorème de M. Clapeyron est d'un fréquent usage : par exemple dans la théorie des ressorts

Revenant enfin sur la question des *deux paramètres*, qui définissent les propriétés élastiques des solides homogènes, M. Desmousseaux de Givré fait voir que le rapport de ces deux paramètres varie énormément d'un corps à l'autre. Il cite à l'appui deux chiffres : le premier relatif au fer et à l'acier; le second relatif aux caoutchoucs et communiqué à l'Académie des sciences, il y a quelques années, par M. Clapeyron, qui l'avait déduit d'expériences effectuées au chemin de fer du Nord.

M. Malo donne ensuite lecture d'une note sur les chaussées en asphalte comprimé.

Après avoir fait ressortir les inconvénients de tous genres que présentent les chaussées actuellement en usage dans Paris, M. Malo rappelle les divers essais qui ont été tentés pour leur amélioration. De tous les systèmes essayés, un seul (dit M. Malo) est resté debout, et, après dix années d'un rude et laborieux noviciat, est parvenu à se poser comme le rival sérieux du pavé et du macadam ; c'est l'asphalte comprimé.

L'asphalte qu'on emploie est un carbonate de chaux parfaitement pur, imprégné naturellement d'une manière très-intime de 6 à 10 p. 100 de bitume. Cette roche s'exploite par bancs réguliers de 4 à 7 mètres de puissance, à Seyssel (Ain), au Val-de-Travers (canton de Neuchâtel, Suisse), et sur plusieurs autres points de la même région jurassique.

A une température voisine de 100 degrés, le bitume d'imprégnation se ramollit, les grains se séparent et la roche tombe en poussière.

Si, pendant que cette poussière est encore chaude, on la comprime, les molécules se recollent, et la matière reprend toute la solidité que la roche possédait au sortir de son gisement.

Cette propriété a été appliquée à la confection des chaussées.

La roche expédiée de la mine est broyée mécaniquement et amenée à l'état de poudre, puis passée dans des échauffeurs où sa température est élevée à 140 degrés environ. Dans cet état, elle est conduite au lieu d'emploi.

La forme de la chaussée a été recouverte d'avance d'une couche de béton (qui doit être sèche); c'est sur cette forme que l'on étend la poudre d'asphalte chaude; on la pilonne avec des dames en fonte (chauffées), puis on la comprime successivement avec trois rouleaux, le premier de 200 kilogr., le second de 800 kilogr., et le troisième de 1,800 kilogr., jusqu'à ce qu'elle soit réduite à une épaisseur uniforme qui, pour la ville de Paris, a été fixée à 4 centimètres.

Deux ou trois heures après le passage du dernier rouleau, la chaussée est assez refroidie, et par suite assez résistante pour être livrée à la circulation.

En 1850, un an après la découverte du procédé, M. Darcy, inspecteur général des

pavés et chaussées, en proposait l'application sur une partie des boulevards; ce ne fut pourtant qu'en 1854 que la première chaussée en asphalte comprimée fut exécutée rue Bergère, par les soins de MM. Homberg, ingénieur en chef, et Vaudrey, ingénieur ordinaire du service municipal.

En 1854, les essais occupaient 7 à 800 mètres.

En 1858, la surface s'élevait à 8,000 mètres.

Aujourd'hui, elle est supérieure à 100,000 mètres, non compris les propriétés particulières dans lesquelles on a fait les chaussées des cours, moins peut-être à cause de leur solidité qu'à cause de leur insonorité.

Comme dans tous les systèmes nouveaux, il y a eu des écoles et des mécomptes; nous citerons les plus importantes difficultés qu'on a eu à vaincre.

Tout d'abord, il a fallu chercher les moyens d'arriver à une bonne préparation de la matière, et c'est à peine si l'on vient d'atteindre le but. On a rencontré ensuite les difficultés d'application, et l'essai tenté dans la rue Neuve-des-Petits-Champs a été fertile en enseignements.

L'asphalte avait dû, vu la saison avancée, être appliqué sur du béton qui n'avait pas eu le temps de sécher, et dont l'eau, en se vaporisant au contact de la matière chaude, avait empêché l'agrégation des molécules. De plus, le béton reposait sur un terrain nouvellement remanié pour la confection d'un égout, de sorte qu'il y eut affaissement et désagrégation de la couche d'asphalte.

Les avantages que présente une chaussée en asphalte comprimé sont rappelés ci-après :

Elle ne produit ni boue ni poussière. — L'usure annuelle est à peine d'un millimètre, après que le roulement des voitures a amené le maximum de compression.

Elle est insonore, ce qui est un précieux avantage pour les établissements où le silence est nécessaire. Quant au danger qu'on a craint pour les piétons, il est facile d'y remédier.

Le tirage des chevaux est sensiblement moindre sur l'asphalte que sur le pavé ou le macadam fraîchement rechargé. Il est facile de s'en convaincre en examinant les différences d'efforts musculaires exercés par les chevaux attelés lorsqu'ils passent de l'une à l'autre chaussée.

L'asphalte comprimé employé en chaussée réduit l'entretien des voitures par la suppression des cahots. — M. Malo estime qu'il résulterait de ce chef une économie annuelle de 8,500,000 fr. au profit des propriétaires de chevaux et de voitures, en supposant que tout Paris fût asphalté.

Enfin, l'absence de choc et de trépidation influerait sur la durée et la stabilité des constructions riveraines.

On a reproché aux chaussées en asphalte d'être impraticables aux chevaux de luxe, et particulièrement aux chevaux de selle, parce qu'elles étaient trop glissantes.

Cet inconvénient ne se produit que lorsque la pente de la rue est trop considérable ou le bombement de la chaussée exagéré.

On a vérifié par un comptage que dans le même temps 1 cheval sur 1,308 s'était abattu dans la rue de Sèze, qui est pavée, tandis que 1 cheval sur 1,409 s'abattait dans la rue Neuve-des-Capucines, qui est en asphalte.

Quelquefois, les chaussées en asphalte deviennent glissantes à cause des matières étrangères qui sont apportées par la circulation; un simple lavage toutes les vingt-quatre heures suffit pour enlever ces matières, ou bien on jette à la surface du sable qui remédie à l'inconvénient.

Voici les prix de revient comparatifs des différentes chaussées en usage à Paris, au mètre carré :

CHAUSSÉES.	L'ÉTABLISSEMENT.	ENTRETIEN ANNUEL.
Asphalte comprimé, béton compris.....	15 fr.	1 fr. 25
Pavé en porphyre belge.....	18 à 22 fr.	0f,50 à 1f,50
Macadam en granit dans les voies fréquentées.....	7 fr.	2f,40 à 3f,00

Pour le pavé en porphyre, la dépense, dans les limites ci-dessus, dépend du plus ou moins grand écartement des joints.

Pour le macadam, aux frais d'entretien il faudrait ajouter ceux qui résultent du nettoyage des égouts.

Il est difficile de tirer une conclusion bien nette des chiffres ci-dessus; mais ils peuvent servir si avec eux on combine les avantages et les inconvénients inhérents aux divers systèmes.

M. Malo termine sa note en faisant remarquer que tout le terrain jurassique, depuis le département du Bas-Rhin jusqu'en Savoie, est très-riche en asphalte, et que l'on ne doit avoir aucune crainte de voir la matière manquer si on lui donnait l'extension la plus grande aux chaussées en asphalte. En dernier lieu, il fait ressortir la simplicité d'entretien, qui est telle que la circulation s'aperçoit à peine de l'embarras que causent les réparations.

M. Tresca a fait sur les chaussées en asphalte comprimé plusieurs séries d'expériences de traction, et il ne peut admettre, comme l'a indiqué M. Malo, que l'effort de traction sur ces chaussées soit moindre que sur le pavé.

Une première série d'expériences faites en août 1859, à cinq heures du matin, avait montré que le bitume était encore influencé par la température de la veille, et que, pour une voiture chargée, on obtenait à ce moment les rapports suivants dans les chiffres de la traction : sur le pavé, 1; sur le macadam, 1,50; sur la chaussée en asphalte, 5.

Au mois de janvier suivant, une autre série d'expériences fut faite autour du Palais-Royal : les résultats furent beaucoup plus favorables à la chaussée en asphalte, mais la traction y était encore aussi grande que sur le macadam.

Les expériences dynamométriques sont les seules qui puissent fournir à cet égard des éléments certains d'appréciation; mais il est probable que la compressibilité du bitume est la principale cause des résultats qui viennent d'être indiqués. Pour des voitures moins chargées, cette compressibilité serait beaucoup moins mise en jeu, et tout fait croire que les résultats seraient alors moins défavorables au nouveau mode de construction de la voie.

A l'époque où M. Louba commença l'exploitation des chemins de fer américains, le dynamomètre avait fait voir que la résistance était trop grande pour les attelages, et que ceux-ci ne pourraient longtemps résister à la fatigue.

C'est qu'en effet les véhicules étaient munis de roues à boudin s'engageant dans des ornières creuses, qui, par suite de défauts de pose presque impossibles à éviter, n'étaient pas parfaitement parallèles, et qui venaient casser les roues; on supprima l'un des boudins et l'inconvénient disparut, c'est-à-dire que la résistance fut réduite des deux tiers.

M. Tresca n'avait pas publié les résultats qui précèdent pour ne pas nuire à une industrie naissante; il regrette d'avoir été obligé de sortir de cette réserve en entendant la lecture d'un Mémoire qui, par l'intérêt même qu'il présente dans ses diverses parties, pourrait facilement donner cours à des erreurs regrettables sous le rapport de la résistance à la traction.

M. Malo ne peut pas discuter les chiffres de M. Tresca; mais, à l'appui de sa note, il en appelle à ce qui lui a été dit par des cochers qu'il a consultés, et qui préfèrent l'asphalte aux autres chaussées.

M. Callon fait observer que sur le macadam la résistance à la traction est très-variable, avec l'entretien, avec la sécheresse et l'humidité, ou l'état intermédiaire du temps, et avant de se prononcer définitivement il faudrait multiplier les expériences; on pourrait, pour ces expériences, imiter M. Raucourt, qui avait construit des manéges, de sorte que dans un espace limité on pourrait apprécier l'usure des chevaux, en même temps que les avantages et les inconvénients des diverses sortes de chaussées.

Un Membre pense qu'il faut, dans la question dont il s'agit, distinguer la résistance à la traction de l'effort de traction : l'effort que les chevaux ont à faire doit une partie de son importance à ce qu'ils ne sont pas convenablement ferrés pour circuler sur les chaussées en asphalte; et il faudrait, si l'on adoptait ces chaussées, modifier les fers.

Il fait observer que sur l'asphalte les irrégularités de surface qui se produisent avec l'aide du temps, et surtout les intempéries de l'air et des saisons, font varier beaucoup, dans l'état actuel des choses, les conditions de la traction.

Il pense, d'ailleurs, que cet inconvénient pourrait être diminué de beaucoup, et que les chaussées en asphalte pourraient être très-avantageusement développées à l'aide de perfectionnements divers faciles à obtenir :

Il voudrait que l'on employât sous la couche d'asphalte des bétons plus solides; tels sont les bétons dits plastiques, qui constituent une véritable pierre artificielle, beaucoup plus résistante et plus durable que les bétons ordinaires. Il voudrait aussi que les chevaux fussent ferrés d'une manière spéciale pour pouvoir mieux prendre pied. Enfin, il pense que la Compagnie qui exécute à Paris ce mode de chaussée, en réduisant ses bénéfices à un taux ordinaire, pourrait diminuer notablement ses prix.

Dans de telles conditions, nul doute que l'asphalte, au point de vue de la dépense totale (établissement et entretien) à faire en quelques années, comme aussi sous les autres rapports, ne l'emporte de beaucoup à Paris sur le macadam, dont tout le monde reconnaît les graves inconvénients, et dont le prix d'entretien est, sur de grandes étendues de chaussées, beaucoup plus élevé que ne l'a indiqué M. Malo; tandis que l'asphalte, qui coûterait très-peu d'entretien, faciliterait en outre l'adoption si désirable des voitures mécaniques sur les voies ordinaires.

Il fait remarquer, entre autres choses, que la traction de ces voitures, par un moteur mécanique à gaz ou autre, coûterait sur l'asphalte beaucoup moins que ne coûte actuellement la traction par chevaux sur le macadam ou sur le pavé, même si la chaussée en asphalte donnait lieu à une *résistance à la traction* beaucoup plus

grande que celle qui se produit sur les autres chaussées, et égale à la moyenne la plus défavorable que l'on puisse actuellement supposer.

En outre de tout ce qui vient d'être dit en faveur des chaussées en asphalte, il est bon de parler encore du bienfait qu'elles procureront par la disparition de l'odieuse poussière du macadam, de laquelle le plus grave inconvénient (auquel on n'a peut-être pas assez songé) est son introduction dans les voies respiratoires, très-nuisible à la santé de beaucoup d'individus.

M. Malo, répondant à diverses observations qui lui sont adressées, fait remarquer que les réparations se font avec la plus grande facilité, qu'il y a une soudure complète entre l'asphalte ancienne et la nouvelle, de sorte qu'une chaussée entière ne forme qu'un seul morceau. Aux points de jonction d'une chaussée en asphalte avec une autre chaussée, il n'est pas nécessaire de prendre de précautions particulières; l'asphalte acquiert une solidité suffisante pour résister; mais il ajoute que l'asphalte ne peut être avantageusement employée dans les rues dont la pente est trop considérable.

M. le Président remercie M. Malo de sa communication, qui sera insérée au Bulletin de la Société.

M. Alquié donne ensuite lecture par extraits d'une étude sur l'usure et le renouvellement des rails, par M. Eugène Flachat.

Dans cette note, M. Flachat cherche d'abord par le calcul quelle doit être la durée des rails, en ayant égard à l'usure résultant du frottement des bandages des roues sur les rails. Il arrive à conclure que cette usure est loin d'être ce que la pratique enseigne, mais que si le rail se détruit plus rapidement que le calcul l'indique, cela tient à ce que sa matière manque d'homogénéité et de ténacité, à ce que la limite d'élasticité du métal est toujours dépassée. Sous la charge, les rails s'exfolient, les fibres se détachent; il y a un véritable écrouissage.

M. Flachat développe successivement les faits suivants :

Les rails ne sont ni assez larges, ni assez hauts, le fer qu'on emploie à la fabrication n'est pas d'assez bonne qualité, la voie actuelle n'est bonne que pour des vitesses maxima de 50 kilomètres; il faudra la modifier en même temps que les véhicules, quand on voudra augmenter la vitesse sans fatiguer les voyageurs.

M. Flachat examine ensuite ce que doit coûter la réfection des voies.

Il indique la durée des divers systèmes de voies qui ont été posés sur les chemins de fer de l'État belge, et les dépenses qui ont été faites pour le renouvellement des voies.

Il expose ensuite, d'après les comptes rendus des assemblées générales d'actionnaires, les dépenses qui ont été faites dans le même but en France par les chemins de fer du Nord, de l'Est, d'Orléans, de Lyon, de la Méditerranée, de l'Ouest.

M. Flachat discute le système de voie Barlow, qui a été essayé sur la ligne du Midi; il explique les causes qui ont fait renoncer à cette voie; ces causes sont : les mauvaises dispositions du laminage d'une matière qui paraissait, par sa qualité, propre à recevoir la forme du rail en question, l'étirage ne pouvant se faire également dans toutes les parties du rail.

M. Flachat attribue aussi l'usure rapide des rails de la voie Barlow à ce qu'ils ont été placés sur une ligne à simple voie.

De plus, la voie Barlow ne permet pas un écoulement facile aux eaux; celle-ci, se faisant un passage à travers le ballast, rend la voie mobile; le remplacement d'un rail est une opération difficile et longue.

M. Flachat compare ensuite la voie Vignole et la voie à double champignon, et il conclut, au point de vue de la dépense, que la première est plus avantageuse que la seconde.

En terminant, M. Flachat insiste de nouveau sur la nécessité : 1° d'augmenter le poids des rails en augmentant leur dimension; 2° d'améliorer la qualité des matières servant à leur fabrication.

Il fait remarquer que les rails ainsi augmentés pourront servir à fabriquer, par un simple laminage, des rails plus légers, destinés aux lignes secondaires, quand l'usure en aura nécessité le renouvellement.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le Mémoire de M. Flachat sera imprimé *in extenso* dans le Bulletin du quatrième trimestre 1863, et distribué à tous les membres de la Société avant la séance du 19 février dans laquelle aura lieu la discussion.

MM. Gandillot, Honoré, Veret, Vaessen et Bronne ont été reçus membres de la Société.

Séance du 5 Février 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. TRESCA demande à expliquer que le procès-verbal n'a pas reproduit sa pensée quant à la comparaison à faire dans chaque cas particulier entre l'augmentation de travail résultant de l'élévation du véhicule et celle qui résulte de l'augmentation du tirage. On ne peut établir d'une manière générale la prépondérance de l'un de ces éléments sur l'autre.

A l'appui des chiffres qu'il a indiqués dans la dernière séance, sur le tirage relativement élevé sur les chaussées en bitume, il présente à la Société les diagrammes des expériences. Ceux du mois d'août 1859 particulièrement, qui reproduisent d'ailleurs chaque coup de collier, sont remarquables par l'augmentation considérable des ordonnées, au moment où la voiture passait d'une chaussée pavée ou macadamisée à une chaussée en bitume. Les chiffres précédemment annoncés sont conformes à ceux qui ont été relevés sur ces diagrammes.

L'ordre du jour appelle la discussion sur le système de M. Agudio.

M. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ donne lecture d'un travail sur le système funiculaire de M. Agudio.

L'objet principal de ce mémoire a été de comparer le travail nécessaire pour remorquer sur diverses pentes un même poids brut de 100 tonnes, à l'aide des trois moyens suivants :

Locomotives;

Machine fixe et câble sans fin;

Appareil funiculaire de M. Agudio.

Les résultats du calcul sont consignés dans le tableau ci-après; ils accusent en définitive une supériorité marquée du système Agudio sur les plans ordinaires, et mettent les locomotives hors de cause pour les fortes inclinaisons.

Le désavantage des locomotives provient de ce fait : *Que la pente (et par suite le travail résistant) croissant par degrés égaux, le travail développé par le système de M. Agudio ou par machine fixe ordinaire croît aussi par degrés égaux; tandis que*

les poids adhérents (et par suite le travail des locomotives) s'accroissent comme les ordonnées d'une hyperbole.

Cependant, les locomotives présentent de si grands avantages au point de vue de l'exploitation, qu'il convient de les employer bien au delà des limites de pentes marquées par la théorie : c'est en cela que paraît consister le point principal de la discussion.

Quant à l'*avantage théorique* du système Agudio sur les plans ordinaires, il provient uniquement de ce que le câble moteur, étant beaucoup plus léger, exerce une moindre résistance passive.

C'est le lieu d'ajouter que le système Agudio nous paraît fondé sur deux principes bien distincts.

1° *L'adhérence obtenue par touage sur câble fixe,* qui paraît d'un immense et incontestable avantage;

2° *La transmission de la force motrice par câble sans fin à grande vitesse,* ce qui semble au contraire fort sujet à discussion.

Ainsi, par exemple, ne serait-il pas préférable, au point de vue de la simplicité, de la sécurité, de l'économie, surtout de l'uniformité du service, de substituer le plus souvent à l'appareil locomoteur, qui pèse 20 tonnes, une sorte de locomotive qui ne serait pas beaucoup plus lourde, et qui ferait tourner les tambours sur lesquels s'enroule le câble d'adhérence.

Les poids de ces appareils, n'étant plus déterminés par les conditions d'adhérence, croîtraient par degrés égaux avec la pente, c'est-à-dire avec le travail résistant.

Tableau des résultats approchés que le calcul fournit.

DÉSIGNATION.	PENTES par mètres.	Nombre de kilogrammètres développés sur l'arbre de la machine à vapeur fixe ou locomotive pour faire parcourir 1m.00 à un convoi de 100t (charge brute remorquée) à petite vitesse, soit : 10 à 20 kilomètres.		
		Avec locomotives.	Avec le système Agudio sur plans inclinés divisés en sections de 6 kilomètres.	Avec plans inclinés (à câbles sans fin directs), divisés en sections de 6 kilomètres.
Conditions habituelles des grandes lignes.....	0	526	1140	1430
	10	1765	3420	4290
	20	3330	5700	7150
Conditions des traversées des grandes chaînes de montagnes.....	30	5380	7980	10010
	40	8180	10260	12870
	50	12200	12580	15730
	60	18600	14820	18590
	70	30000	17100	21450
	80	56700	19380	24310
	90	190000	21660	27170
	95	un travail infini	22800	28600
	100	»	23940	30030

Ce tableau a été dressé au moyen des trois expressions suivantes de la résistance totale R, en fonction de la résistance R_T du poids utile remorqué T, et de l'inclinaison $\frac{p}{1000}$:

(1) Dans la traction par locomotives. $R = R_T \times \frac{100}{100 - (5+p)}$.

(2) Dans la traction par câbles sans fin directs, sur plans inclinés de 6,000 mètres de longueur. $R = R_T \times 2{,}86$.

(3) Dans la traction par le système funiculaire de M. Agudio, sur plans inclinés de 6,000 mètres de longueur. $R = R_T \times 2{,}28$.

Ces trois formules ont été fondées sur l'hypothèse d'une résistance au roulement égale à 5 kilog. par tonne de wagon de locomotive de locomoteur, etc.

L'adhérence des locomotives a été supposée de $\frac{1}{10}$.

Dans les deux autres systèmes, on a compté (avec M. Molinos) sur une résistance passive du câble moteur égale à $\frac{1}{16}$ de son poids.

Sur les plans à câble direct, on a supposé le train de 100 tonnes augmenté pour la sécurité de 3 wagons-freins de 10 tonnes, et le câble a été calculé pour travailler à raison de 5 kilog. par mmq.

Pour l'appareil funiculaire, le poids du locomoteur est estimé à 20 tonnes, et l'on a affecté la résistance au roulement [du train de $(100 + 20)^t$] d'un coefficient de $\frac{100}{75}$, pour tenir compte des résistances passives du câble d'adhérence et du locomoteur considérés comme machine. Reste à déterminer la résistance passive du câble moteur, et nous verrons là tout l'avantage de ce système sur le précédent. Cette résistance R_c est évidemment proportionnelle à la vitesse du câble et à son poids, c'est-à-dire en définitive au travail qu'il transmet; or, à travail égal transmis, ce câble moteur est seize fois moins lourd que celui des plans ordinaires; d'abord il marche quatre fois plus vite (c'est du moins l'hypothèse où nous nous plaçons avec M. Molinos). En second lieu, la tension se répartit également sur les deux brins montant et descendant; enfin, comme la résistance du câble n'importe plus à la sécurité, on peut le faire travailler deux fois plus, soit à raison de 10 kilog. par mmq.

Donc, en résumé, la résistance R_c est $\frac{16}{4}$, ou quatre fois moindre que celle d'un câble direct.

M. Desmoussraux de Givré montre ensuite à la Société un tracé graphique des résultats consignés dans le tableau précédent, et d'après lesquels :

1° L'appareil funiculaire donnerait sur toutes les pentes un meilleur rendement que l'appareil à câble direct;

2° Le rendement des locomotives serait supérieur à celui des appareils à câble direct jusqu'à des inclinaisons d'environ $\frac{60}{1000}$, et supérieur à celui des appareils funiculaires jusqu'à des inclinaisons d'environ $\frac{50}{1000}$.

A ce mémoire sont ajoutés quelques développements sur l'avantage de rendement que présenterait le *touage par locomotives*.

En comptant le poids moyen de la locomotive-tender largement approvisionnée, à raison de 100 kilog. par force de cheval (poids vérifié sur différents systèmes de locomotives), et en supposant la vitesse de 10 km. à l'heure, et en représentant encore l'effet des résistances passives du câble d'adhérence et du moteur considéré comme machine, par le même coefficient de $\frac{100}{75}$ que nous avons adopté pour l'appareil funiculaire, on arrive à la formule

$$R = R_T \times \frac{200}{200 - (5 + p)}, \qquad (4)$$

d'après laquelle on obtient respectivement pour les rampes de 50,75 et 100 millim. les valeurs : ($R_T \times 1{,}38$), ($R_T \times 1{,}66$), ($R_T \times 2{,}10$).

Rapprochant ces résultats des formules (2) et (3) précédemment obtenues, on voit, qu'à faible vitesse (10 km.) le touage à vapeur que nous proposons paraît donner encore sur rampe de 100 mill. un meilleur rendement que tous les autres systèmes.

M. Dubied donne lecture d'une note qu'il a préparée sur la question, et dit que le système de traction de M. Agudio est certainement digne du plus sérieux examen. La transmission du mouvement des moteurs fixes au convoi a quelque chose d'analogue au mécanisme employé (à notre connaissance pour la première fois par M. Cavé) pour faire marcher par une courroie le chariot porte-outil des machines à raboter à outil mobile et à crémaillères.

Mais la disposition de M. Agudio présente une particularité tout à fait nouvelle, c'est de rendre actifs ou moteurs les deux brins de commande, en les faisant passer tous les deux sur des poulies motrices du locomoteur, et en leur communiquant le mouvement aux deux extrémités de la rampe à franchir. C'est là un mode nouveau de transmission de mouvement qui peut trouver son application ailleurs, et qui mérite de trouver place à l'avenir dans les traités de cinématique.

Cela posé, examinons quels sont les cas où le système de M. Agudio, qui présente l'avantage de rendre le travail moteur dépensé, exactement proportionnel au poids du train augmenté de 20 tonnes, poids du locomoteur, perd, en suite des résistances passives provenant de la roideur des deux câbles et du frottement des axes de leurs diverses poulies, le bénéfice de ne pas avoir, comme dans le système à traction par locomotives, à remonter sur la rampe, à franchir un moteur d'un poids considérable.

La résistance propre du convoi de 120 tonnes, gravissant la rampe de Dusino, est (page 18 du rapport de M. Agudio) de. . . . 120,000 (0,027 + 0,006) = 3960[k]

Les résistances diverses inhérentes au système de traction funiculaire proprement dit s'évaluent comme suit :

Résistance du locomoteur (gravité et frottement)		20,000 (0,027 + 0,006) =	660
Roideur du câble d'adhérence. .	744 23		
Frottement sur les axes de ses tambours.	9 44	Total représentant les résistances passives de la transmission.	2348,17
Roideur du câble moteur (p. 35 et 36) et frottement des axes de ses poulies, (1553,85 − 1198,85) × 2 × 2,25 =	1597 50		
Total.			6968,17

Le travail dépensé est égal à la vitesse du convoi multipliée par 6968k,17, résistance totale, tandis que le travail utile est égal à la même vitesse multipliée par 3960k, résistance propre du convoi. L'effet utile, comme le fait remarquer M. Agudio, est égal au rapport de ces deux chiffres, soit $\frac{3960}{6968,17} = 0,567$.

Pour se rendre compte de l'effet utile du système ordinaire de traction par locomotives dans les mêmes circonstances d'inclinaison de la voie, il faut examiner quel est l'effet de traction sur niveau de la plus puissante locomotive connue, en défalquer la composante de son poids sur rampe de 0,027, ainsi que le chiffre des frottements de ses essieux. On évaluera alors l'effort qui reste disponible pour la remorque du convoi. — Nous prendrons comme type la locomotive à 4 cylindres et à 6 essieux couplés du Nord, dont l'effort de traction calculé est de 7826 kilogrammes, et qui a développé dans les expériences du 2 octobre 1863 et 21 janvier 1864, sur le chemin de fer de Saint-Gobain, des efforts de traction de 7440 et 7790 kilogrammes. Le poids de cette locomotive avec ses approvisionnements est de 57600 kilogrammes.

Pour ne rien exagérer et pour comparer plus facilement les résultats obtenus par cette locomotive avec ceux du système funiculaire de M. Agudio, contentons-nous d'évaluer sa puissance de traction à 6968k,17, résistance totale, toutes résistances passives comprises, du train de 120 tonnes sur le plan incliné de Dusino.

Le rapport entre la traction et le poids fournissant l'adhérence sera de

$$\frac{6968,17}{57600} = \frac{1}{8,265} = 0,121.$$

Si l'on admet, avec les ingénieurs du Nord, que ces conditions d'adhérence permettent d'assurer au service une régularité suffisante, on pourra gravir la pente de 27 mill. avec un train du poids total de $\frac{6968,17}{0,027 + 0,006} = 211150$ kilogrammes.

Déduisant de ce chiffre le poids de la locomotive, il reste, pour le poids du convoi, 153,550k, dont la résistance à la remonte est de 153,550 $(0,027 + 0,006) =$ 5067k

Tandis que la résistance due au poids de la locomotive et au frottement de ses essieux est de $57600 \times (0,027 + 0,006) =$ 1901

Total. 6968

Rapport de l'effet utile au travail moteur dépensé $\frac{5067}{6968} = 0,727$.

Au lieu du coefficient 0,567 du système funiculaire.

S'il est démontré que la traction des locomotives du Nord à 4 cylindres et à 6 essieux couplés peut atteindre 6968 kilogr. dans de bonnes conditions d'adhérence et de charges d'essieux, il conviendra, au point de vue de l'économie de la force motrice, en faisant abstraction de toute autre considération, et en admettant que le rendement de la locomotive est égal à celui des moteurs fixes de M. Agudio, de conserver la locomotive pour l'exploitation de rampes de 0,027.

Ce ne sera plus vrai lorsque la pente deviendra plus considérable, et il arrivera un moment où le rendement des deux systèmes sera le même, et au delà duquel la traction par le système funiculaire deviendra plus avantageuse.

Pour déterminer la pente par mètre x, et la pente du poids du convoi correspondant à cette limite, remarquons qu'en appelant P le poids en kilogrammes du convoi remorqué par le système funiculaire, P' celui du convoi traîné par la locomotive du Nord, on aura les deux équations :

$$(P + 20000)\ (x + 0{,}004) + 2348{,}47 = 6968{,}47, \qquad (1)$$

et

$$(P' + 57600)\ (x + 0{,}006) \qquad = 6968{,}47; \qquad (2)$$

faisant $P = P'$ et éliminant cette valeur entre les équations 1 et 2, on aura :

$$(x + 0{,}006) = \frac{2348{,}47}{37600}. \qquad (3)$$

D'où l'on tire pour valeur de x la pente par mètre $x = 0{,}05647$.

La valeur correspondante de P ou P' déduite des équations 1 et 2 sera de 53900 kilogrammes, poids du train remorqué.

On peut énoncer d'une manière plus simple ce résultat, en disant que le rendement des deux modes de traction est le même quand la pente est telle, que l'effort nécessaire pour la faire gravir à un véhicule d'un poids égal à la différence des poids de la locomotive et du locomoteur (soit 37600 kil.) devient égal à 2348,47. — Ce chiffre représente, comme nous l'avons vu, toutes les résistances passives de la transmission de mouvement des moteurs fixes au locomoteur par le moyen des câbles.

M. Molinos a parfaitement fait ressortir dans son intéressant rapport tout l'avantage du système de M. Agudio sur le mode de traction par machine fixe et câble mobile. — Mais nous ne pensons pas comme lui que le touage par moteur locomobile appliqué à la remonte des trains ne puisse pas présenter une solution avantageuse dans certains cas. — En se contentant d'une faible vitesse ascensionnelle, on pourrait, tout en conservant la portion la plus intéressante, à notre avis, du système de M. Agudio, c'est-à-dire le câble fixe d'adhérence avec son contre-poids de tension, les poulies E et F du véhicule moteur sur lesquelles il s'enroule, remplacer le câble sans fin de traction par une machine à vapeur montée sur le locomoteur lui-même. Ce locomoteur se transformerait en une espèce de chariot à vapeur dont les roues ne seraient pas motrices et qui passerait aussi facilement que le locomoteur dans les courbes des plus faibles rayons. Cette disposition serait tout à fait analogue à celle des toueurs que nous voyons fonctionner sur nos fleuves.

Le rendement de ce mécanisme serait très-avantageux si l'on se contentait de marcher à de très-faibles vitesses avec un chariot à vapeur d'un poids peu élevé. — Il aurait l'avantage de n'avoir aucun de ses organes mobiles placé à demeure sur la voie. Le câble fixe d'adhérence resterait seul exposé aux intempéries de l'atmosphère. Le chariot à vapeur pourrait, en cas d'avaries, être remplacé comme on remplace une locomotive à réparer; toutes les pièces mobiles du système seraient renouvelées par le fait de ce remplacement.

Nous ne prétendons pas donner ce procédé, qui n'a rien de nouveau, quoiqu'il ne soit appliqué nulle part, comme une solution générale de la traction sur de fortes rampes. On nous objectera toujours qu'il ne convient que pour de très-faibles vitesses. Néanmoins, il est certains cas, nous le croyons, où il ne sera pas à dédaigner.

Quoique nous ayons beaucoup d'estime pour la disposition du câble-moteur sans fin de M. Agudio, nous n'approuvons pas, en principe, l'emploi d'organes de transmission de mouvement fonctionnant au grand air comme les poulies, supportant et guidant le câble-moteur, et à câble-moteur lui-même.

Les organes de machines, composés de pièces mobiles frottant les unes sur les autres, sont faits pour fonctionner à couvert, à l'abri de la poussière, de la pluie, de la neige, de la gelée, des alternatives du froid et de la chaleur, de la sécheresse et de l'humidité, qui sont des causes très-énergiques de détérioration. Si l'on ne peut pas

faire autrement que de les y exposer, que ce ne soit du moins que pendant le temps où ils fonctionnent.

C'est ce qui se passe dans la traction au moyen de la locomotive ou de notre chariot à vapeur.

Admettons qu'on veuille remorquer un train de 80 tonnes sur une rampe de $0^m,10$ par mètre à la vitesse de $1^m,00$ par seconde seulement.

L'effort de traction du convoi sera égal à $80000\ (0,10+0,006) = 8480^k$

Celui d'un char à vapeur de 180 à 200 chevaux pesant au maximum 40 tonnes, $40000\ (0,10+0,006) = 4240$

Roideur du câble d'adhérence approximativement. $= 1480$

Résistance totale. . . . . 14200^k

Travail moteur total $\frac{14200+1}{75} = 189$ chevaux.

Rapport du travail utile au travail moteur $\frac{8480}{14200} = 0,597$.

Comme il serait possible de placer entre les rails plusieurs câbles d'adhérence, on pourrait remorquer des convois très-rapprochés les uns des autres, ou former de longs convois qu'on commanderait par plusieurs chariots à vapeur, et dans ces conditions satisfaire, par une disposition simple et peu coûteuse, aux exigences d'un service de traction assez important.

A la vitesse de 3,600 mètres à l'heure, on rachèterait, dans le même temps, une différence de niveau de 360 mètres sur une rampe de 10 p. 100. Aussi, les plans inclinés desservis par ce système ne seraient-ils jamais bien longs. Le ralentissement de vitesse serait sans importance pour les marchandises; il n'aurait pas non plus une très-grande influence sur la marche des trains des voyageurs, le temps perdu sur la rampe de 10 p. 100 pouvant être regagné sur les autres portions de la ligne nécessairement moins inclinées que si l'on n'avait pas eu la ressource d'établir avec une inclinaison de 10 p. 100 la rampe sur laquelle la traction s'opère au moyen du touage à câble d'adhérence fixe.

M. Desmousseaux de Givré est arrivé, comme M. Dubied, à proposer l'emploi d'une machine à vapeur portée sur le chariot funiculaire pour produire la rotation des poulies; mais il voudrait que cette machine fût une locomotive ordinaire, qui, après le passage du plan incliné, pourrait continuer son service sur les autres parties du chemin de fer.

M. Agudio fait observer que les locomotives de M. Ellet, en Amérique, ont démontré l'inutilité d'ajouter quelque appareil que ce soit à la locomotive ordinaire afin d'en augmenter l'adhérence.

Les rampes de 6 à 7 centimètres par mètre sur le chemin de fer de Richmond à l'Ohio (Virginie) sont gravies par des locomotives à petites roues de 28 tonnes, qui remorquent 34 à 40 tonnes, à la vitesse de 10 à 12 kilomètres, et cela sans avoir recours à aucun artifice pour créer l'adhérence, ce qui ne ferait qu'augmenter le poids de la machine et les résistances passives. La locomotive toueur de M. Dubied porterait une surcharge de 12 à 15 tonnes, et son câble engendrerait une résistance d'un millier de kilogrammes pour la roideur.

Les locomotives, même celles de M. Ellet, ne rendraient pas l'exploitation possible là où le charbon ne serait pas à très-bon marché, 8 à 10 fr. la tonne. Mais ce n'est pas

le cas ici d'appliquer son système. M. Agudio a en vue le passage des Alpes avec l'utilisation des forces hydrauliques. C'est en raccourcissant la longueur de la ligne et du tunnel de faîte, en diminuant les dépenses d'entretien du chemin et des machines, et en faisant usage de la force de l'eau, qu'il espère atteindre de grandes économies dans l'exploitation, et enlever en quelque sorte l'obstacle que les hautes montagnes opposent, au point de vue financier, à l'établissement des chemins de fer.

L'élévation des frais d'exploitation par les locomotives, qui atteignent déjà, sur les rampes de 25 millim., le chiffre de 65 à 70 p. 100 des recettes sur plusieurs lignes, et qui sur le plan incliné des Giovi de 10 kilom. de longueur dépassent déjà le revenu kilométrique du chemin, laisse apprécier quelles seront les conditions d'exploitation d'un chemin avec locomotives Dubied à travers les Alpes, sur des rampes de 8 à 10 centimètres par mètre ayant 25 à 30 kilomètres d'étendue, en brûlant du combustible à 60 et 65 fr. la tonne. Comparé aux plans inclinés ordinaires, le nouveau système n'a pas de prétention à un grand avantage au point de vue de l'effet utile des moteurs; mais il a une supériorité bien définie au point de vue de l'économie d'établissement et de l'exploitation, et, ce qui est très-important, c'est que le nouveau système évite les graves inconvénients du système ordinaire et rend l'application des plans inclinés possible là précisément où ils doivent jouer un grand rôle, et où on ne pouvait pas les employer à cause de leurs défauts. Ainsi, d'après l'ancienne méthode, les plans inclinés seraient composés d'alignements droits d'une étendue très-restreinte, ce qui conduirait à un très-grand nombre de moteurs.

Le système actuel permet de doubler la longueur des plans inclinés, de les tracer en courbes, d'employer des machines moitié moins fortes, sans nécessité de machines de rechange ; le prix du câble est moindre, son entretien moindre; l'usure des poulies n'est plus aussi forte, le danger de la rupture du câble, qui amène des accidents si terribles et sans sauvetage possible sur les courbes, n'est plus à craindre. Pour ces raisons, l'établissement des plans inclinés dans ce système est bien plus économique, leur exploitation bien plus avantageuse et plus sûre que dans le système ordinaire.

Les machines, les poulies et les appareils de tout genre seraient à l'abri des intempéries, attendu que tout chemin de fer, quel que soit son système, devra être entièrement couvert, et dans ce système la couverture peut être faite économiquement en bois, pris sur place.

Comparé aux locomotives, il paraît que le système funiculaire nouveau et ancien, quoique plus économique, devrait leur laisser la place sur les pentes de 25 à 30 millimètres par mètre, à cause de la plus grande simplicité et de la régularité d'exploitation. Toutefois, il peut y avoir exception si la circonstance d'application facile d'une force d'eau se présente accompagnée d'un mouvement très-considérable de la ligne.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que la question peut être examinée sous deux points de vue : la comparaison avec les locomotives, la comparaison avec les plans inclinés ordinaires. Il ne reste plus de doutes sur le premier. M. Agudio reconnaît lui-même l'avantage des locomotives jusqu'à 27 millimètres de pente, et même au delà. M. Desmousseaux de Givré est arrivé, par quelques calculs, au chiffre de 50 millimètres; c'est peut-être bien considérable, mais on ne sera pas loin de la vérité en fixant à 40 millimètres la rampe avec laquelle les locomotives perdraient leur droit à la préférence.

M. AGUDIO dit que la question de l'effet utile peut être envisagée de différentes manières et qu'on peut également démontrer que les effets utiles des trois systèmes présentés par M. Desmousseaux de Givré sont les mêmes sur la pente de trois comme

sur celle de quatre et même de cinq centimètres par mètre, car le mode d'appréciation des effets est toujours beaucoup élastique. Mais s'il s'agit de la question économique, elle peut être nettement tranchée par des faits incontestables, du moment que sur le plan incliné de Glascow, qui a 24 millimètres de pente seulement, l'exercice des locomotives a dû laisser la place à celui du câble qui ne coûte pas 30,000 francs par an, tandis que les locomotives portaient la dépense à 80,000 francs. Aussi à Liége, après avoir expérimenté les locomotives, on a continué avec le câble pour ne pas surcharger la dépense d'exploitation. — L'exploitation des locomotives sur le plan incliné de Giovi, comme M. l'ingénieur Couche l'a constaté, donne une dépense kilométrique de la voie trois fois plus forte, l'entretien des machines par tonne remorquée est décuplée, et pour la consommation du combustible on a 60 p. 100 en plus par la seule présence du moteur. Pour de telles raisons et surtout pour utiliser la force hydraulique de 1200 chevaux disponibles, on a cherché à remplacer le câble à la locomotive; mais les inconvénients de l'ancien système à câble s'y sont opposés. La brochure que j'ai eu l'honneur de présenter fait voir que le nouveau système à câble épargnerait les 3/4 de la dépense.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que l'expérience ne paraît pas avoir prononcé dans le sens qui vient d'être indiqué, car des plans inclinés de 25, 30, 35 millimètres de pente, qui étaient exploités avec des câbles, sont aujourd'hui exploités avec des locomotives. Il en est ainsi, par exemple, à Saint-Germain et à Aix-la-Chapelle. Il semble donc qu'on soit autorisé à dire que, jusqu'à environ 35 millimètres, dans des conditions ordinaires d'approvisionnement du combustible, la locomotive vaut mieux que le câble.

M. AGUDIO dit que les plans inclinés qu'on a abandonnés n'étaient pas bien établis ou bien exploités. Les machines y étaient dans de mauvaises conditions et ne donnaient pas une régularité suffisante. Il pense que pour des rampes de 25 ou 30 millimètres, la question est bien difficile à trancher d'une façon générale. Il répète ce qu'il a déjà dit, que, où le combustible est cher et l'utilisation de la force hydraulique facile et où le mouvement est considérable, le câble avec les nouveaux perfectionnements vaudra toujours mieux que la locomotive.

M. MOLINOS, répondant aux observations de MM. Desmousseaux de Givré et Dubied, dit qu'il ne pourra passer en revue les chiffres fort intéressants qui ont été cités, mais qu'il est difficile de saisir à une première audition. Quoi qu'il en soit, il partage l'opinion de M. le président sur la limite à laquelle les locomotives cessent d'être avantageuses; cette limite serait au-dessous de 50 millimètres, et 40 millimètres paraissent une valeur assez forte.

Quant au touage avec locomoteur, il a aussi sa limite, et un moteur qui pourrait, par exemple, tirer 100 tonnes sur une certaine pente et à une vitesse donnée, arrivera promptement, la pente augmentant, à ne plus pouvoir se remorquer lui-même à cette même vitesse, il faudrait donc la réduire; or, on ne peut admettre pratiquement de vitesse au-dessous de 8 kilomètres par heure.

M. MOLINOS désire poser la question sur le terrain où le système proposé par M. Agudio présente de réels avantages. S'il s'agit d'un plan incliné de grande longueur et à forte pente, comme par exemple pour le passage du Simplon, où l'on arrive à 25 kilomètres de rampe de 100 millimètres, le système funiculaire est seul possible au point de vue économique. Un plan incliné ordinaire ne peut admettre de courbes; et sur un pareil plan le câble pèserait 20 kil. par mètre; une installation analogue au plan incliné de Liége serait impraticable au Simplon pour traîner

100 tonnes sur 10 centimètres de rampe; on arrive à un câble énorme; comme les courbes seraient inévitables, il faudrait de nombreuses poulies pour guider le câble, et, s'il venait à s'échapper de la gorge de l'une d'elles, on aurait à déplorer une catastrophe effroyable.

C'est dans ces conditions que le système de M. Agudio présente de grands avantages, comme installation et comme exploitation. Le câble d'adhérence dont on peut, sans inconvénient, augmenter la section, donne la sécurité, il ne s'use que fort peu. Le petit câble aura seulement le huitième du poids qu'il aurait sur un plan incliné ordinaire. Son usure et sa rupture même n'auront pas d'inconvénient sérieux.

M. Molinos répare une erreur qui s'est glissée dans le rapport qu'il a présenté à la Société sur cette question. L'inégalité du diamètre des poulies ne produirait pas, comme il l'a dit, le glissement du câble. Il y a à chaque extrémité du câble un tendeur à chariot mobile, dont la course peut être de 80 à 100 mètres, et qui ne se mouvrait que d'une quantité peu considérable, même pour une différence très-sensible sur le diamètre des poulies. Lorsqu'on voudra ramener le chariot-tendeur à sa position, il suffira de mettre en marche la première celle des deux machines motrices dont le tendeur s'est rapproché.

M. le Président demande si le plan incliné installé en Italie a fonctionné à titre d'expérience ou en service régulier.

M. Agudio répond que ce sont des expériences qui ont été suivies pendant dix-huit mois par lui-même et par les commissions du Gouvernement et de l'Institut. L'attente du rapport de l'une de ces commissions l'oblige à une certaine réserve.

En réponse à la note de M. Dubied, M. Agudio ajoute que la locomotive toueur a été expérimentée sur le Giovi avant les locomotives actuelles, et, pendant dix-sept mois, elle a donné de mauvais résultats.

Sur ce plan incliné de Dusino, le système funiculaire donne des avantages sérieux, quoique les machines dont on a fait usage soient dans un très-mauvais état, et que la voie, à cause de la nature du terrain, soit dans des conditions très-défectueuses. Les essais seront repris prochainement, et M. Agudio est heureux de savoir que plusieurs membres de la Société viendront assister à ces expériences.

M. Henri Mathieu demande le prix d'établissement comparatif du matériel nécessaire par kilomètre, avec la traction funiculaire et avec les locomotives.

M. Agudio répond que, pour 1,500 tonnes de trafic journalier, la dépense kilométrique serait environ de 150,000 francs, y compris les machines sur un plan incliné de 35 à 40 millimètres de pente et 5 kilomètres de longueur.

M. le Président dit que la locomotive est le plus simple et le plus léger des appareils toueurs qu'on puisse employer, puisque les roues servant de supports sont utilisées comme moyen de touage.

Si l'on fait usage d'un câble fixe, comme le propose M. Dubied, ou d'un rail central, sur lequel agiront deux roues horizontales, comme l'a proposé M. Seguier, la machine avec ses approvisionnements pèsera davantage pour la même puissance produite. On peut, il est vrai, diminuer la vitesse du train, mais alors l'instrument perd son principal avantage.

M. Dubied fait observer qu'à faible vitesse on pourrait cependant traîner de fortes charges avec un locomoteur de faible poids, et qu'on pourrait avoir sur la voie plusieurs câbles d'adhérence pour remplacer la vitesse par le plus grand nombre de trains.

M. Molinos préfère une plus grande vitesse et un seul câble.

M. Agudio dit que la puissance des machines fixes n'étant pas limitée, on pourra traîner de plus fortes charges, ce qui vaudra mieux pour la sécurité que de multiplier les trains. Sur le Giovi, avec les locomotives, il est interdit d'avoir à la fois deux trains sur la rampe.

M. le Président fait observer qu'on renonce chaque jour de plus en plus, pour les forges, aux moteurs naturels dont M. Agudio propose l'emploi.

M. Agudio dit que la situation pour la traversée des Alpes est exceptionnelle. Quand on a des chutes d'eau de 500 chevaux de force à sa disposition sur chaque câble, on est très-heureux de pouvoir les utiliser surtout là où le prix du charbon est très-élevé et la consommation serait extraordinaire.

M. Goschler appuie la réponse de M. Agudio, et écarte la comparaison avec les forges qui renoncent aux moteurs naturels, à cause de leurs frais élevés d'établissement, et surtout à cause des chaleurs perdues, qui sont aussi une source gratuite de travail.

Séance du 19 Février 1864.

Présidence de M. Petiet.

M. Callon demande la parole pour annoncer à la Société le décès de M. Boudsot, l'un de ses membres.

La Société apprendra avec douleur le décès, survenu le 1er de ce mois, de l'un de ses membres les plus anciens et les plus estimés, M. A. Boudsot, ingénieur civil à Gray.

Notre excellent confrère, sorti de l'École centrale en 1833 avec le diplôme d'ingénieur constructeur, avait montré, pendant son séjour même à l'École, tout ce qu'on devait attendre de lui plus tard : chez lui, en effet, le goût des études théoriques et une connaissance approfondie des mathématiques s'alliaient avec le sentiment pratique le plus net et avec une activité exceptionnelle. Une aptitude remarquable pour l'enseignement des sciences appliquées fut, chez notre collègue, le résultat de cette tournure d'esprit également propre à ramener à des règles générales les indications de la pratique, et à porter dans le domaine de celle-ci le flambeau de la science pure.

Il en donna la preuve dans ses leçons à l'école municipale des sciences appliquées à Besançon et à l'École polytechnique égyptienne, au Caire, où il séjourna plusieurs années.

La plus grande partie de sa carrière d'ingénieur se passa d'ailleurs en Franche-Comté, où il sut, pour ainsi dire dès le lendemain de sa sortie de l'École, conquérir une réputation méritée par l'établissement de travaux importants, soit pour les communes (distribution d'eau, de gaz; nombreux ponts suspendus; travaux communaux divers, entrepris en collaboration avec un autre de nos collègues, que nous avons eu aussi la douleur de perdre, M. J.-B. Martin), soit pour les principaux industriels de cette contrée, notamment par la Compagnie des forges de Franche-Comté.

Appelé souvent à défendre les intérêts des industriels dans leurs instances administratives, il réussit plus d'une fois dans cette tâche difficile, l'une des plus importantes qui puissent être dévolues aux hommes de notre profession; il y réussit, grâce à

l'étude la plus approfondie et à l'exposé le plus lucide des affaires qui lui étaient confiées.

Enfin, il nous sera permis de rappeler ici, en en réservant pour plus tard l'exposition complète, les travaux publics importants dont il fut chargé :

1° Comme ingénieur de la Compagnie des chemins de fer de Dijon à Besançon et d'Auxonne à Gray;

2° Comme directeur du chemin de fer du Jura industriel.

Dévoué de cœur à l'École centrale, il regarda toujours comme l'un de ses premiers devoirs d'aider à l'entrée de leur carrière les jeunes camarades avec lesquels il se trouva en relation, et, quoique absent de Paris, il fut l'un des premiers à coopérer à la fondation de l'association amicale des anciens élèves de cette École.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite communication du rapport qu'il a préparé sur l'opportunité d'augmenter le local de la Société.

Messieurs,

J'ai l'honneur de vous proposer de prendre en location pour deux années, à partir du 1er avril prochain, un petit appartement qui est contigu à celui que nous occupons. — Le prix du loyer serait de 1,200 fr. par an; notre bail actuel, qui prendra fin en avril 1866 est de 3,000 fr.; notre loyer serait porté ainsi à 4,200 fr.

Les dépenses d'installation et d'ameublement à faire dans l'ancien et dans le nouvel appartement sont estimées à 4,000 fr. savoir :

Installation du gaz	1,000 fr.
Mobilier et rideaux	2,300
Jeux d'échecs, de dames, de dominos, trictrac. . . .	150
Raccords et frais divers.	550
Total. . .	4,000 fr.

Nos dépenses annuelles seront augmentées de 4,000 fr. environ conformément aux prévisions suivantes :

Location	1,200 fr.
Éclairage et chauffage	1,000
Service	600
Journaux	1,000
Contributions, frais divers	.200
Total. . .	4,000 fr.

L'utilité de la mesure est évidente, puisque, sans supplément de cotisation, nous offrirons à tous les membres de la Société un lieu de réunion où ils pourront se rencontrer aussi souvent que cela leur conviendra ; les locaux de la Société, sa bibliothèque, etc., étant à leur disposition tous les jours et à toute heure.

Ce sont donc de nouvelles et très-sérieuses facilités que nous donnerions à nos collègues : cela serait surtout apprécié par ceux qui n'habitent pas Paris, et qui trouveraient ainsi, lors de leur séjour passager dans la Capitale, un endroit où ils pourraient économiquement et honorablement travailler, faire leurs correspondances et voir les industriels avec lesquels ils auraient affaire.

Cette combinaison serait commode également pour nos jeunes collègues habitant Paris, puisque ce serait pour eux une espèce de cercle.

La convenance de la proposition n'est pas douteuse : il reste à voir si la Société peut l'adopter et y donner suite sans commettre une imprudence.

Nous avions en caisse, à la fin de l'année, soit en argent, soit en obligations au porteur, d'après le dernier état de situation présenté par notre trésorier :

	7,494 fr.	60 c.
Nous avions à recouvrer	6,468	»
Total de notre actif en dehors du fonds social inaliénable. . .	13,662 fr.	60 c.

Cette somme ne serait pas disponible en totalité, mais il suffirait d'en prélever la moitié seulement pour faire face aux dépenses prévues pour l'installation et au déficit de la première année.

Nos recettes ordinaires ont été :

En 1861	de	15,544 fr. 25 c.	
1862	»	15,379 20	
1863	»	16,808 »	
Soit en moyenne			15,900 fr.

Nos dépenses ont été :

En 1861	de	16,754 fr. 75 c.	
1862	»	12,550 55	
1863	»	15,923 30	
Soit en moyenne			15,075 fr.
Nous avons eu un excédant de recette qui a été en moyenne par an..			825 fr.

Notre supplément de dépenses étant estimé à 4,000 fr., il y aurait un déficit de plus de 3,000 fr.

Nous pensons que ce déficit sera comblé, l'an prochain, par suite de l'augmentation probable et considérable des membres de la Société.

Afin de justifier ces prévisions, je vous demande la permission de faire ici un petit historique de notre Société :

Fondée le 4 mars 1848 par les anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures (Art. 2 des Statuts), la Société compte déjà 16 années d'existence. Il ne sera certes pas sans intérêt de mettre en regard les noms de ses membres au commencement de 1849 et au moment présent[1]. La liste de 1849 a été rectifiée en rayant quelques noms qui avaient été publiés par erreur. Chacune d'elles est accompagnée d'une liste spéciale aux anciens élèves de l'École centrale. (Voir pages 6, 59 et 61.)

Au commencement de 1849, la Société des Ingénieurs civils se composait de 202 membres, sur lesquels 140 étaient anciens élèves de l'École centrale ou 70 0/0. L'ensemble des élèves sortis de cette École en 17 promotions de 1832 à 1848 étaient de 652.

Aujourd'hui, en comprenant les demandes d'admission qui sont déposées, la Société se compose de 642 membres sur lesquels 380 sont anciens élèves de l'École centrale; mais l'ensemble des trente-deux promotions, y compris celle de 1863, donne un nombre total de 1,974 anciens élèves. Il est vrai qu'il y a malheureusement quelques vides dans ces rangs; mais cependant 1,078 avaient, dès le 10 janvier 1864, adhéré aux statuts de l'Association amicale : or, tous les anciens élèves sont aptes à se faire admettre parmi nous; vous voyez qu'il est assez naturel de compter sur l'adhésion d'une partie d'entre eux.

On a dit, Messieurs, qu'il y avait un certain antagonisme entre cette Association et notre Société. Au risque de me répéter, j'insisterai encore pour combattre cette

1. La liste de 1864 se trouve augmentée de 58 membres par suite des admissions nouvelles qui ont eu lieu depuis le 19 février.

TABLEAU donnant la composition du bureau et du comité depuis l'origine de la Société.

Année de sortie des anciens élèves de l'École centrale.	NOMS	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864
	Flachat (Eugène).....	P	P	P	VP	P	VP	VP	VP	M	VP	P	M	VP	P	M	M	M
1833	Callon (Charles).....	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	M	P	M	M	M	M	VP	VP	VP
	Degousée.....	VP	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
1836	Bois (Victor).....	S	S	S	M	M	M	M	M									
1841	Scribe.....	S																
1836	Priestley.....	T	T	T														
1833	Boudsot.....	M																
1834	Alcan.....	M		M	M	M	M	M	M	M	M	M	VP	M	M	M	M	M
1832	Petiet.....	M	M	M	M	VP	P	M	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	M	VP	P
1833	Laurens.....	M	M	M								M	M	VP	VP			
1836	Barrault (Alexis).....	M		M	M	M	M			M	M	M	M	M	VP	VP	M	M
1839	Nozo.....	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	VP	VP	M	M	M	M	M
	Poussin (le major).....	M																
	Grouvelle.....	M	M	M														
	Séguin (Paul).....	M	M	M	M	M	M	M	M									
	Vuigner.....	M	VP	VP	VP	VP	VP	P	M	M	M	M	VP	P	M	M	M	M
	Gayard.....		S	S														
	Bellier.....	S	S	S	S	S	S	M										
	Edwards.....		M	M														
1833	Thomas (Léonce).....	M	M	M					VP	M	VP	M	M	M	M	M		
1834	Faure.....	M	M	M	M	M	M	M	VP	VP	VP	VP	P	M	M	M		
1836	Polonceau.....	M	M	VP	VP	VP	VP	VP	M	P	M	M	M					
1840	Yvon-Villarceau.....		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	Mony (Stéphane).....			VP	M	M	M	VP	P	M	M							
	Yvert (Léon).....			S	S	S	S	S	S	S		M	M	S	M	M		
	Honel.....			M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M				
	Calla.....			M		M	M											
	Deligny.....			M	M										M			
1837	Knab.....			M	M	M	M											
	Cavé.....			M	M	M	M	M							M			
	Gouin (Ernest).....			M	M													
	Perdonnet.....				P													
1840	Goschler.....				S				S								M	M
1835	Gerber.....				S	S												
1832	Loustau.....				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

1841	Salvetat				M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	VP	VP	VP
	Bergeron				M	M	M	M	M	M	M	VP	M	M	M	M	M	M				
1837	La Salle				M	M	M	M	M	M	M											
	Pépin-Lehalleur				M	M	M	M	M	M	M	M	M									
1841	Mathieu (Henri)					S	M	S	S									M			M	M
1839	Evrard					M	M	M														
1836	Chobrzynski							M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	Lorentz							M	S													
1841	Fèvre									S	S	S	S									
1841	Cornet									S												
1838	Forquenot									S	M	M	VP	M	M	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
	Charbonnier									M												
1835	Lemoinne									M	M											
1843	Nancy										S	S										
1840	Love										M	M	S	S								
1838	Grenier										M		M	M				M	M	M	M	M
	Nepveu										M											
	Gaudry											M	S	S	S							
1840	Trélat											S	M	S	M	M	M					
1851	Molinos											M	M	M	M	M	M	M			M	M
	Duméry											M										
1841	Alquié (Auguste)											M	M	S	M	S	M	M	M	M	M	M
1853	Ser													S	S	S	S					
	Bréguet													M	M	S	S	M				
1844	Guillaume														S	S	S	S	S	S	S	M
1852	Péligot (Henri)														S	S	S	M	M	M	M	M
	Laurent (Charles)														M	M	M	M	M	M	M	M
1840	Mathias (Félix)														M	M	M	M	M	M	M	M
1844	Benoît-Duportail															S	S	S	S	S	S	S
1852	Tronquoy																S	M	M	M	M	M
1841	Arson																	S	S	S	S	S
1850	Richoux																	M	M	M	M	M
	Tresca																	S	S	S	S	S
1854	Ermel																		P	M	M	VP
1839	Limet																		S			
1845	Farcot																		M	M	M	M
1843	Dubied																		M	M	M	M
	Petitgand																		M			
	Morin (le général)																		M			
1846	Donnay																			P		
	Marié																			S	S	S
	Brüll																			M		
	Fournoyron																				S	
1835	Vuillemin																				M	M

assertion, qui ne repose sur rien de sérieux. Personne ne peut connaître l'opinion de la majorité de ses membres, puisque cette opinion n'a pu se produire ; mais on peut avec confiance s'en rapporter aux représentants réguliers de cette Association, c'est-à-dire aux membres de son Comité élu. Or, les vingt membres de ce Comité sont tous membres de notre Société. Onze d'entre eux font partie de notre Comité [1].

La Société des Ingénieurs civils a facilité, soyez-en surs, le prompt et légitime succès de l'Association amicale. Celle-ci sera pour nous l'occasion d'une extension nécessaire, et je suis persuadé que nous aurons en elle un concours dévoué et sympathique, et que nous arriverons aisément au but que nous nous sommes tracé.

Je ne veux pas, Messieurs, fatiguer votre attention en exposant l'ensemble des travaux de la Société, il me suffira de placer sous vos yeux un tableau synoptique donnant la composition successive de notre Comité depuis l'origine. (Voir page 56.)

J'ajouterai cependant que la Société, reconnue d'utilité publique le 22 décembre 1860, possède un fonds social inaliénable qui était, au 31 décembre 1863, de 62,690 fr., lequel a été constitué ainsi :

Dons volontaires.	20,540 fr.
Exonérations.	40,400
Droits d'admission.	1,750
Total égal.	62,690 fr.

En résumé, Messieurs, j'ai l'honneur de vous proposer, sous réserve de l'approbation de la Société, d'autoriser les dépenses extraordinaires qui sont exposées dans le présent rapport.

Une discussion s'engage sur cette proposition.

Quelques membres craignent de voir la Société s'engager dans des dépenses auxquelles elle ne pourra faire face, d'autres insistent sur l'insuffisance évidente du local et sur la nécessité de l'augmenter de suite.

M. LE PRÉSIDENT résume la discussion et montre que, pour le présent, la Société a un encaisse disponible suffisant pour couvrir les dépenses, dans lesquelles l'engagerait l'augmentation de son local.

Quant à l'avenir, M. le président croit ses prévisions assez modestes pour avoir l'assurance qu'elles se réaliseront. Il soumet donc avec confiance sa proposition au vote de la Société.

Sur la demande de quelques membres, le vote a lieu au scrutin secret; il donne les résultats suivants :

Nombre des votants		89
Pour la proposition	70	
Contre	17	
Bulletins blancs	2	

La proposition est approuvée.

MM. *Boca* et *Dailly* ont été admis comme membres sociétaires.

1. Composition du Comité de l'Association amicale pour l'année 1863-1864 :

1° Membres faisant partie du Comité de la Société des ingénieurs civils, 1864.	
MM. Alcan, Arson, Callon, Forquenot, Goschler, Loustau, Noxo, Petiet, Salvetat, Vuillemin, Yvon-Villarceau.	11
2° Membres ayant fait partie du Comité :	
MM. Priestley, Ser, Thomas.	3
3° Membre de la Société :	
MM. Cauvet, Chevandier, Dailly, Mayer, Pereire (Eugène), Rhoné. . . .	6
Total.	20

LISTE GÉNÉRALE

des Membres de la Société des Ingénieurs civils

au commencement de 1849.

Aboilard.
Albrizio.
Alby.
Alcan.
Alquié.
Armengaud aîné.
Arson.
Bardon.
Barrault (Alexis).
Baumal (Henri).
Bellier.
Benard.
Benoist Duportail.
Bergeron.
Bertholomey.
Biver.
Blacher.
Blanche.
Blard.
Bois.
Bonnefoi (De).
Bonnet.
Bordet.
Boudard aîné.
Boudsot.
Bougère.
Bourcart.
Bourdon.
Bourgougnon.
Bousson.
Boutin.
Bricogne.
Bridel.
Bureau.
Caillé.
Calla.
Callon.
Cavé (François).
Chabrier.
Chappon.
Chaplin.
Chavès.
Chevandier.
Chobrzynski.
Clémandot.
Comte.
Cornet.
Courtépée.
Crétin.
Curtel.
Daguin.
Danré.
Darblay.
David.
Debauge.
Degousée.
Degrand.
Delaborie.
Deligny.
Delom.
Desmazures.
D'Hamelincourt.
Donnay.
D'Régel.
Dufournel.
Dugourd.
Duméry.
Duolmard.
Dupuis.
Durenne.
Durocher.
Duval.
Duval Piron.
Eck.
Edwards.
Faure.
Faure de Villat.
Fèvre.
Flachat (Adolphe).
Flachat (E.).
Forquenot.
Fournier.
Frèrejeau.
Fresnaye.
Ganneron.
Gardissal.
Garnaud.
Gayrard.
Gentilhomme.
Gerder.
Germon.
Geyler.
Gollnich.
Gouin (Ernest).
Gouvion.
Grandvoinnet.

Grenier.
Grouvelle.
Guelle.
Guérard.
Guérard de la Tour.
Guettier.
Guibal.
Guillaume.
Guntz.
Hermary.
Holcroft.
Houel.
Hubert.
Huet.
Humblot.
Jullien.
Kœchlin.
Knab.
Labouverie.
Lacambre.
Laligant.
Lalo.
Landry.
Lapersonne.
La Salle.
Laurens.
Laurent (Victor).
Lebon.
Leclerc.
Lecœuvre.
Lecointre.
Lemaire.
Lemaire-Teste.
Lemaitre.
Lemoinne.
Lepeudry.
Leroy.
Letrange.
Lorentz.
Loustau.
Love.
Mariotte.
Mathias (Félix).
Mathias (Ferdinand).
Mathieu.
Marguet.
Marsillon.
Mesdach.
Mesmet.
Mignon.
Mirecki.
Mitchell.
Montcarville (de).
Moreau (Albert).
Nancy.
Nozo.
Oriolle.
Pecquet.
Pépin Lehalleur.
Petiet.
Picard.
Planhol (de).
Poinsot.
Polonceau.
Pot.
Pothier.
Pottier.
Poupé.
Poussin (le major).
Priestley.
Proal.
Pury (de).
Quétil.
Raab.
Redon.
Rhoné.
Richard.
Richard.
Riche.
Rognon.
Rossire.
Salleron.
Salvetat.
Seguin.
Schœnée.
Scribe.
Servel.
Slavecki.
Thauvin.
Thomas (Alfred).
Thomas (Léonce).
Trélat (Émile).
Valério.
Vallier.
Vautier.
Verdavaine.
Vigneaux.
Villain.
Vincent.
Vinchon.
Viron.
Vollant.
Volski.
Vuigner.
Yvert.
Yvon Villarceau.

LISTE

PAR PROMOTION DE SORTIE DES ANCIENS ÉLÈVES DE L'ÉCOLE CENTRALE QUI ÉTAIENT MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS AU COMMENCEMENT DE L'ANNÉE 1849.

1832. — Aboilard, Loustau, Petiet, Verdavaine. 4

1833. — Boudsot, Callon, Duval (E.), Laurens, Mathias (Ferdinand), Thomas (Léonce). 6

1834. — Alcan, Chevandier, Dufournel, Faure (Auguste) *. 4

1835. — Gerder*, Lacambre, Lemoinne, Merecki, Wolski. 5

1836. — Barrault (Alexis), Bois, Chobrzynski, Clémendot, Guibal, Jullien, Laurent (Victor), Polonceau*, Priestley, Slavecki. 10

1837. — Blacher, Bricogne, Knab. 3

1838. — Bertholomey, Bougère, Forquenot, Grenier, Lecœuvre, Valerio. . 6

1839. — Bourgougnon, Compte, Daguin, Nozo, Proal, Vallier. 6

1840. — Gollnisch, Guntz, Love, Mathias (Félix), Marguet, Marsillon (Jean), Trélat, Yvon-Villarceau. 8

1841. — Alquié, Arson, Bardon*, Boutin, Cornet*, D'Hamelincourt, D'Régel, Fèvre (Léon), Gouvion*, Mathieu (Henri), Rhoné, Salvetat, Scribe, Thauvin, Volland*. 15

1842. — Alby, Debonnefoy, Debauge, Deligny, Frèrejean*, Kœchlin, Labouverie, La Salle, Pot, Pothier. 10

1843. — Biver, Garnaud, Guénard de Latour, Montcarville, Nancy, Pottier, Pury (De), Quetil. 8

1844. — Benoit-Duportail, Curtel, Guelle, Guillaume (Charles), Richard, Riche, Salleron. 7

1845. — Baumal, Caillé, Courtépée, Ganneron, Germon, Grandvoinnet, Guérard, Hermary, Le Roy. 9

1846. — Blanche, Blard, Bourcard, Delom, Desmazures, Donnay, Duolmard, Mariotte, Mitchell, Raab, Schœnée, Vigneaux. 13

1847. — Bénard, Bonnet (Félix), Bridel, Chabrier, Chavès, Darblay, Delaborie, Faure de Villat*, Fresnaye, Geyler, Humblot, Laligand, Landry, Lapersonne, Lebon, Lemaire-Teste, Oriolle, Piquet, Redon, Vincent, Viron 21

1848. — Boudard (Casimir), Chappon, David, Huet, Rossire. 5

Total. 140

* Décédés.

LISTE

PAR PROMOTION DE SORTIE DES ANCIENS ÉLÈVES DE L'ÉCOLE CENTRALE QUI SONT MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS AU MOIS DE FÉVRIER 1864.

1832.	— Aboilard, Évrard, de Fontenay, Lasseron, Loustau, Petiet, Veret.	7
1833.	— Boudsot, Callon, Duval (Ed.), Laurens, Mathias (Ferd.), Prisse, Thomas (Léonce).	7
1834.	— Alcan, Chevandier, Dufournel.	3
1835.	— Charpentier, Lemoinne, Mirecki, Vuillemin, Wolski.	5
1836.	— Barrault (Alexis), Bois, Clémendot, Chobrzynsyl, Guibal, Jullien, Laurent (Victor), Priestley.	8
1837.	— Bricogne, Cournerie, Decaux, Forey, Knab, Schlumberger, Vegni.	7
1838.	— Bertholomey, Bougère, Dailly, Dombrowski, Forquenot, Grenier, Lecœuvre, Marion, Mathieu (Férd.), Romme, Valério.	11
1839.	— Beaussobre (de), Bourgougnon, Daguin, La Rochette (de), Limet, Moléon (de), Nozo, Vallier.	8
1840.	— Belpaire, Goschler, Guillon, Guntz, Karcher, Love, Marsillon (Jean), Mathias (Félix), Trélat, Yvon-Villarceau.	10
1841.	— Alquié, Arson, Boutin, Depérais, Fèvre (Léon), Gérondeau, D'Hamelincourt, Levat, Mathieu (Henri), de Régel, Rhoné, Salvetat, Schlinker, Thauvin.	14
1842.	— Alby, Barroux, Belanger, Debauge, Debonnefoy, Deligny, Desforges, Gouvy, Labouverie, La Salle, Pot, Pothier (Francis), Thouin.	13
1843.	— Biver, Dubied, Gibon, Marès, Mayer, Montcarville (de), Nancy, Pottier (Ferdinand), Pury (de), Saulnier.	10
1844.	— Benoît-Duportail, Guillaume (Charles), Muller (Emile), Nillis, Richard, Riche, Salleron, Schmerber.	8
1845.	— Baumal, Bévan de Massy, Caillé, Chollet, Courtépée, Deffosse, Farcot (Joseph), Ganneron, Geoffroy, Germon, Guérard, Hermary, Hovine, Le Roy, Méraux, Muller (Adrien), Sulzberger (Henri), Thomas (Frédéric).	18
	A reporter.	129

Report. 129

1846. — Blanche, Blard, Bourcart, Delom, Desmazures, Donnay, Durocher, Laurenzano, Lecorbeiller, Lopez-Bustamente, Mariotte, Martin (Léon), Michel, Mitchell, Oudot, Sautter, Vigneau 17

1847. — Bonnet (Félix), Bridel, Cauvet, Chabrier, Chavès, Darblay, Fresnaye, Gaveau, Geyler, Humblot, Jequier, Laborie (de), Laligant, Lebon, Melin, Redon, Viron, Weil. 18

1848. — Arcangues (D'), Blonay (de), Blot, Boudard (Casimir), Busschop, Chauvel, Degousée, Fontenay (Anselme de), Hervier, Huet, Langlois (Charles), Le Cler (Achille), Maure, Mercier, Thevenet. 16

1849. — Baret, Barrault (Émile), Berton, Binder, Crespin, Delannoy, Devers, Farcot (Emmanuel), Fiévet, Gil, Claudio, De Joly, Lafon, Ottavi, Piquet, Rancès, Ribail. 17

1850. — Artus, Boivin, Bouillon, Chancerel, Comberousse (de), Dambricourt, Flachat (Yvan), Guillaume (Henri), Guillet, Masselin, Perret, Pillichody, Pinat, Renard, Renaud, Richoux. 16

1851. — Bonnaterre, Bouilhet, Cahen, De Cœn, De Dion, Delaporte, Lasvignes, Limoges (de), Longraire, Mastaing (de), Molinos, Paul, Pollet, Pronnier, Wallaert. 15

1852. — Berges, Cappucio, Caron, Charaudeau, Clervaux (de), Courras, David (Girard), Devaureix, Fuchet, Gallois, Guérin de Litteau, Hubert (William), Jousselin, Malo, Peligot, Péreire (Eugène), Poiret, Poncet, Poncin, Reymond, Tardieu, Thirion, Tronquoy. 23

1853. — Blondeau, Boitard, Chiandi, Desnos, Dubois, Faliès, Gottschalk, Imbs, Lavezzari, Le Gavrian, Mallac, Michelet, O'Brien, Palotte, Pérignon, Regnault, Roussel, Ser, Tétard. 19

1854. — Borgella, Boudard (Arthur), Branville (de), Coquerel, Dallot, Ermel, Fellot, Gallaud, Gaupillat, Gerber, Hervey-Picard, Houlbrat, Jordan, Jouannin, Lelaurin, Mazilier, Richemont (de), Sarazin. . 18

1855. — Agudio, Berthot, Diard, Dru, Duroy de Bruignac, Eiffel, Étienne, Guillemin (Étienne), Lambert, Lefèvre, Marle, Pellier, Princet, Regad, Sambuc, Servier, Vallez, Vandel, West. 19

1856. — Appert, Cazes, Cuinat, Delon, Demeule, Desprès, Fromentin, Heurtebise, Lemonon, Leroy-Wohlguemuth, Lippmann, Listchfousse, Marindaz, Tardieu (Georges), Valentin. 15

1857. — Barthélemy, Birlé, Cazalis de Fondouce, Deroide, Marché, Marin, Muller (Alfred), Sébillot, Simons, Vée, Verrine. 11

1858. — Baillet, Carcenat, Carimantrand, Daguerre-Dospital, Le Brun (Raymond), Mauguin, Périssé, Plazolles, Pouchet, Ridder (de), Rubin. 11

A reporter. 344

	Report.	344
1859. —	Coindet, Derennes, Desmousseaux de Givré, Fonbonne (de), Hallopeau, Le Cordier, Rey, Rocaché, Stœkel, Wurgler.	10
1860. —	Armand (Eugène), Badois, Couture, Leclerc (Émile), Lévi-Alvarès, Lévi (Jules), Revin, Vigreux.	9
1861. —	Renouard de Bussière, Petit, Sclumberger (Théodore). . . .	3
1862. —	Arnauld, Évans, Honoré, Leygue, Péreire (Émile fils), Péreire (Henri), Rouyer, Tresca (Alfred).	8
1863. —	Denise, Contamin, Martin (Léon-Adolphe), Michaud, Roussin, Vuigner (Adrien), Xavier.	7
	Total.	380

Séance du 4 Mars 1864.

Présidence de M. Petiet.

M. L. Sautter donne lecture d'un mémoire sur un nouveau régulateur isochrone de M. Léon Foucault. Après avoir rappelé la théorie du pendule conique ordinaire, et la propriété qu'il possède de se mouvoir, pour un angle déterminé des bras, avec une vitesse de rotation constante, il montre qu'en tendant à rétablir, dans les machines, par son action sur la valve ou sur la détente, l'équilibre entre le travail moteur et le travail résistant, il ne rétablit pas la vitesse, et qu'au contraire à chaque position angulaire nouvelle qu'il prend, correspond forcément une vitesse différente. La sensibilité du pendule, c'est-à-dire l'amplitude de ses oscillations, et par suite la longueur de course du manchon pour une variation de vitesse déterminée est d'autant plus grande que le pendule est plus isochrone, c'est-à-dire que sa vitesse dans toutes les positions est plus près d'être une vitesse constante. La course du manchon est un des éléments du travail disponible pour opérer le réglage de la machine; on peut donc dire que l'isochronisme, à masse et à longueur de bras égales, augmente le travail réglant.

Il permet par cela même indirectement d'augmenter la promptitude d'action du pendule, puisqu'à travail réglant et à masse égale, il permet d'en raccourcir les bras et par suite d'en augmenter la vitesse.

Si on examine la formule qui exprime la durée de révolution du pendule conique, on voit que cette vitesse est fonction du cosinus de l'angle α des bras avec l'axe vertical, et fonction de la somme des poids des boules et du manchon; on conçoit dès lors que l'on puisse faire varier le poids des boules et du manchon de manière à compenser les variations de l'angle α, que l'on puisse faire en sorte, en d'autres termes, que le produit de ces deux variables soit une constante. Un pendule, dans lequel cette condition a été remplie, est isochrone.

Or cette condition est remplie lorsque la somme du poids des boules et du manchon varie proportionnellement au cosinus de l'angle α. M. Sautter montre que l'on obtient ce résultat en équilibrant une fraction variable du poids des boules et du manchon par l'application, sous ce manchon, d'une force positive ou négative variant proportionnellement aux espaces parcourus par lui au-dessus ou au-dessous de sa position moyenne.

Telle est la condition expresse de l'isochronisme découverte par M. Léon Foucault; elle peut être réalisée de différentes manières. M. Sautter en décrit deux, consistant l'une et l'autre dans l'application sous le manchon de leviers, et de contre-poids diversement disposés.

M. Sautter indique ensuite deux applications qu'il a faites du nouveau pendule isochrone, la première à la machine de rotation d'un phare lenticulaire de premier ordre, la seconde à une machine à vapeur de 16 chevaux. L'appareil optique du phare est mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie à poids. La puissance est donc constante; mais, en raison de légères imperfections des engrenages, de l'usure inégale des galets, ou de causes accidentelles, la résistance peut subir des variations.

Pour les corriger on a créé une résistance supplémentaire variable en installant un volant dont les ailes peuvent être plus ou moins inclinées, et en appliquant à la manœuvre de ces ailes le régulateur isochrone. Le résultat a été des plus satisfaisants : on a pu faire varier de moitié le poids moteur (de 200 à 100ᵏ), embrayer et débrayer subitement le phare, sans amener de variations sensibles de vitesse, et en conservant une régularité de mouvement comparable à celle d'une horloge ordinaire. Avec un pendule non isochronisé, les variations de vitesse résultant des variations de l'angle des bras dans les expériences auxquelles la machine a été soumise, eussent atteint un sixième de la vitesse moyenne.

La machine à vapeur de 16 chevaux est appelée à produire un travail très-variable; de plus, le papillon est placé à 6 mètres de la machine sur le tuyau de conduite de vapeur. Malgré ces circonstances défavorables, le pendule de M. Foucault, pesant 5 kilogr., posé en remplacement d'un pendule de Watt ordinaire de 45ᵏ, a produit une régularité de marche telle qu'un compteur à secondes mis en mouvement par la machine a plusieurs fois tenu la seconde pendant une demi-heure, et que l'on peut débrayer subitement tous les outils mis en mouvement par la machine sans produire une accélération sensible.

M. L. Sautter signale en terminant l'importance du nouveau service que M. L. Foucault a rendu à l'industrie par l'invention du régulateur isochrone.

M. de Mastaing établit, par un tracé graphique fort simple, la loi de variation que subit la force auxiliaire verticale positive ou négative qui doit être appliquée au manchon d'un régulateur pour que les bras puissent s'écarter de l'axe dans une position quelconque, tant que la vitesse angulaire est conservée uniforme. Se fondant sur ce que la force centrifuge est proportionnelle au rayon pour une vitesse angulaire constante, il représente cette force dans une position quelconque d'une boule par l'horizontale comprise entre le centre de cette boule et l'axe de rotation. Cette ligne forme avec la portion d'axe au-dessus d'elle jusqu'au point d'articulation du bras, et avec le bras, le triangle des trois forces sous l'action desquelles la boule est en équilibre dans une position quelconque. Il y a une position pour laquelle le côté vertical du triangle est égal au poids de la boule; dans cette position, il y a équilibre sans l'intervention d'aucune force appliquée au manchon. Au-dessus et au-dessous de cette position, le côté vertical du triangle des forces est plus petit ou plus grand que le poids de la boule; il en diffère en plus ou en moins d'une quantité égale au chemin parcouru par la projection de la boule sur l'axe (lequel est égal à celui parcouru par le manchon dans la construction de Watt). Ce chemin étant mesuré à partir de la position moyenne où il y a équilibre naturel, on voit que les efforts à exercer lui sont proportionnels, et qu'ils sont de même signe, c'est-à-dire positifs au-dessus et négatifs en-dessous, en se conformant au sens positif de haut en bas suivant lequel s'exerce la pesanteur.

Connaissant ainsi la loi des variations d'intensité de la force à introduire, il est facile de trouver un mécanisme qui y satisfasse, et peut-être en trouverait-on de plus simples que celui qui a été proposé par M. Foucault. Un ressort remplit la condition quant à la loi d'intensité des efforts, mais pas quant à leur direction, comme le fait observer M. Sautter. Mais un simple contre-poids coté convenablement sur le levier qui manœuvre la vanne, et tel qu'il est déjà employé, de manière à équilibrer partiellement le poids des tiges ou du manchon, et à fournir un supplément d'effort suffisant, permet d'atteindre parfaitement le résultat.

M. de Mastaing fait aussi observer que la sensibilité du régulateur est proportion-

nelle au poids des boules, ce qui résulte du calcul par lequel on cherche à déterminer ce poids en s'imposant la condition que la vitesse angulaire diffère en plus ou en moins d'une quantité aussi faible qu'on veut de la vitesse moyenne, et que le poids P des boules soit suffisant pour produire dans cette condition une variation de force centrifuge suffisante pour vaincre les résistances passives des transmissions et du papillon.

Enfin, il fait observer que, la grande sensibilité donnée au pendule étant obtenue toujours au moyen de dispositifs basés sur l'hypothèse de conditions de marche bien définie, il importe que ces conditions soient bien remplies ; de sorte que plus l'instrument construit sera sensible, plus il est à craindre qu'il ne se trouve pas toujours dans les conditions rigoureuses et très-resserrées de son bon fonctionnement; aussi, souvent il arrivera qu'un instrument, sans être dans les meilleures conditions mathématiques, sera d'une utilité plus réelle pour les besoins de la pratique industrielle.

M. Sautter répond que l'action du contre-poids produit l'isochronisme, mais sans faire varier ce qu'il a appelé plus haut le pouvoir réglant. La sensibilité, c'est-à-dire l'amplitude du déplacement angulaire des boules pour un changement de vitesse donnée est augmentée dans l'appareil de M. Foucault, les tracés de M. de Mastaing ne sont qu'une traduction des calculs qui viennent d'être exposés. Les moyens dont M. de Mastaing a parlé ne réussiraient pas à réaliser plus simplement les résultats remarquables obtenus par le nouveau régulateur. Quant au changement de vitesse normale, rien n'est plus facile que de l'obtenir avec le régulateur sans arrêter la marche de la machine, puisqu'il suffit de se ménager les moyens d'augmenter ou de diminuer d'une manière absolue le poids du manchon.

M. Tresca partage complétement les idées théoriques si bien développées par M. de Mastaing, mais encore bien que le régulateur dit parabolique, d'abord construit par M. Charbonnier en Alsace, ait reçu déjà des applications fort diverses, la disposition de M. Foucault n'en est pas moins très-intéressante et très-rationnelle. Si M. Sautter n'a pas rencontré, dans l'application qu'il en a faite à une machine à vapeur, les mêmes facilités que dans le mouvement uniforme à imprimer à un simple phare, parce que dans le cas de la machine, la résistance des organes à faire mouvoir est variable, cette difficulté cesse d'en être une lorsque l'on considère que, pour obtenir des régulateurs parfaitement sensibles, il convient, comme l'a réalisé M. Tembrinck de Bar-le-Duc, d'exercer leur action directe seulement sur des organes de débrayage, qui permettent à la machine elle-même d'effectuer, aux dépens du travail moteur, toutes les manœuvres nécessaires pour changer les conditions d'admission.

M. Yvan Flachat rapporte qu'un régulateur de M. Foucault installé sur une des machines à vapeur des usines de Fourchambault a donné de très-bons résultats, il regrette de ne pouvoir fournir à la Société des détails plus circonstanciés.

M. Sautter pense que l'ingénieuse disposition imaginée par M. Tembrinck donne une certaine complication qui peut faire craindre du retard dans l'action réglante de l'appareil et par suite une régularisation moins parfaite du mouvement de la machine.

M. E. Dubied donne quelques renseignements sur les régulateurs de MM. Tembrinck et Dykoff. Il a eu l'occasion de voir fonctionner à Bar-le-Duc un de ces appareils appliqué à une machine à vapeur conduisant un atelier de presses typographiques, et exécutant par conséquent un travail très-variable.

Ces régulateurs sont disposés pour agir à la fois sur la valve et sur la détente. Ils commandent directement la valve qui marche très-librement, et indirectement la dé-

tente en embrayant ou en mettant au repos deux encliquetages qui communiquent, soit dans un sens, soit dans l'autre aux organes de variation de détente, le mouvement de l'arbre du volant de la machine.

Lorsqu'il se produit une diminution subite de résistance, comme cela arrive souvent lorsqu'on arrête à la fois toutes les presses typographiques, les boules s'écartent, la valve se ferme, et la période d'introduction de vapeur à pleine pression se met à diminuer lentement. — Quand la machine revient à sa vitesse de régime, et que la valve présente par ce fait la même ouverture qu'avant l'accélération, l'encliquetage se met au repos, et la détente cesse de varier. — Le travail moteur, réduit par l'augmentation de la détente, reste égal au travail résistant, alors même que ce dernier serait inférieur à la valeur primitive.

Cette condition étant remplie, la machine conserve sa vitesse de régime quand même le pendule conique n'est pas isochronisé.

Ce n'est que dans les machines où le manchon du pendule conique est relié invariablement à la valve ou à la détente, de telle sorte qu'à une position de ce manchon corresponde toujours la même détente ou la même ouverture de valve, qu'il est nécessaire d'avoir des régulateurs isochrones.

M. E. Dubied a pu s'assurer de la marche irréprochable de ce régulateur dont les boules varient à peine de position et reviennent très-rapidement à leur écartement moyen, quelles que soient les variations du travail résistant.

Ce système a sur les régulateurs à embrayage agissant simplement sur la valve ou simplement sur la détente, l'avantage d'obvier rapidement par la valve aux variations instantanées du travail résistant, et de faire varier graduellement et aussi lentement qu'on le désire la détente, et par conséquent le travail moteur. Cette faculté est précieuse en ce qu'elle permet d'obtenir, sans la dépasser, l'introduction de vapeur qui correspond à l'égalité du travail moteur et du travail résistant.

M. Desmousseaux de Givré indique une autre solution de la question; elle consiste simplement à donner au régulateur une très-grande puissance en le faisant marcher à grande vitesse : par exemple à 100, 150, et même 200 tours au lieu de 30 ou 40. M. Desmousseaux déclare avoir donné à l'École centrale les calculs et dessins d'un régulateur fondé sur ce principe[1]; il ajoute qu'assez récemment un régulateur à grande vitesse a été combiné et breveté par M. Bugdale, et qu'installé depuis environ 6 mois sur deux machines fixes du chemin de fer du Nord, cet appareil, qui agit même sans l'intermédiaire d'un embrayage, donne une régularité complète; tandis que le pendule à faible vitesse (30 à 40 tours), qui existait précédemment, donnait de très-mauvais résultats.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur le système de M. Agudio.

M. Molinos donne lecture d'une note dans laquelle il dit qu'après vérification, il est d'accord avec M. Dubied sur les résultats principaux que donnerait la substitution au câble moteur proposé par M. Agudio d'une locomotive agissant sur les treuils par l'intermédiaire d'engrenage. M. Dubied a examiné l'application du touage à un train de 80 tonnes sur un plan incliné à 10 p. 100, et il trouve qu'une machine de 40 tonnes engrenages compris pourrait remorquer le train de 80 tonnes à la vitesse de $3^k,6$ par heure. Ce remorquage correspond à un travail d'environ 200 chevaux, et si l'on défalque des 40 tonnes environ 17 tonnes représentant le poids des engrenages et

1. Projets de concours de 1859.

autres organes de transmission, on arrive à un poids de 23 tonnes pour une machine de 200 chevaux, ce qui fait 8 ch,7 par tonne, Or, M. Molinos a dressé un tableau donnant le poids et le travail développé d'un grand nombre de locomotives, et il résulte de ce tableau que plusieurs de ces machines réalisent et au delà le travail de 8ch,7 par tonne. L'auteur accepte donc les résultats de M. Dubied.

Mais il n'est plus d'accord avec lui sur la comparaison de ces résultats avec ceux du système Agudio. Il objecte d'abord que la vitesse de 3k,6 serait insuffisante pour le transport des voyageurs. Il montre ensuite que, s'il est vrai, que l'effet utile des deux systèmes soit sensiblement égal, le trafic maximum que pourrait desservir le système proposé par M. Dubied serait bien moindre que celui desservi par les systèmes de M. Agudio, ce qui constituerait une infériorité notable. Quelques calculs montrent qu'avec un même câble d'adhérence, le système de M. Dubied ne pouvait remorquer que 288 tonnes kilométriques par heure; alors que le touage à câble en remorquerait 800.

Mais en employant une machine plus lourde et plus puissante pour remorquer le même train, on peut aller plus vite et par suite augmenter le trafic desservi en diminuant l'effet utile. M. Molinos a tracé une courbe représentant la loi qui lie l'effet utile au trafic en tonnes kilométriques à l'heure. Cette courbe donne pour maximum au trafic : 475 tonnes kilométriques correspondant à un rendement de 35 p. 100. Ce n'est encore que la moitié du trafic possible avec le système Agudio, et la perte sur le rendement est considérable.

Quant à la proposition faite par M. Dubied d'augmenter le travail par l'emploi de plusieurs câbles d'adhérence, M. Molinos pense que l'étude des dispositions à adopter montrerait les grandes difficultés, sinon l'impossibilité d'employer plusieurs câbles.

Arrivant ensuite à la comparaison faite par M. Desmousseaux de Givré entre les rendements des locomotives, des plans inclinés ordinaires et du système de M. Agudio, l'auteur présente différentes objections. Le poids de 100k par force de cheval adopté par M. Desmousseaux de Givré pour les locomotives paraît bien faible; le poids des engrenages, treuil moteur, châssis, etc., qui est d'environ 17 tonnes, n'a pas été introduit dans les calculs qui servent de base à la comparaison. Il en résulte que M. Desmousseaux de Givré indique un rendement de 0, 50 p. 100 pour un touage à 10k de vitesse, tandis que le rendement serait en réalité de 28 p. 100. La formule empirique qui évalue les résistances du câble au 1/16 ou 1/20 de son poids n'est pas suffisamment exacte pour l'usage qu'en a fait M. Desmousseaux de Givré, et il résulte des expériences de Dusino que le rapport entre la résistance totale et la résistance du train est de 1,74 au lieu de 2,28 que donne cette formule empirique.

Si l'on introduit ces diverses rectifications dans la comparaison des divers systèmes, les résultats seront grandement modifiés, et l'avantage du système Agudio, tant sur les locomotives que sur le touage, se prononcera bien plus tôt.

M. Molinos termine en faisant remarquer que l'effet utile et le travail total ne sont pas encore les seuls points de vue auxquels il faille se placer pour une comparaison complète. Il faut faire encore entrer en ligne de compte les dépenses et les difficultés de l'entretien, et en général tous les éléments qui composent le prix de revient du transport d'une tonne à un kilomètre. M. Molinos ne doute pas que cette comparaison complète serait à l'avantage du système Agudio.

M. Desmousseaux de Givré, en réponse aux objections de M. Molinos, fait observer que :

1° Le poids total de 100 kilog. par force de cheval, du locomoteur tender à vapeur largement approvisionné et comprenant l'appareil d'enroulement du câble d'adhérence ne semble pas exagéré, car les machines des nouveaux types du Nord (à 2 ou 4 cylindres) ne pèsent guère que 90 kilog. par force de cheval, chiffre que l'on peut réduire de beaucoup en diminuant le tender et en rendant la production des chaudières plus considérable et égale par exemple à ce qu'elle est dans les locomotives à voyageurs; comme on supprimerait aussi tout le mécanisme d'un train plus un ou deux essieux, on peut arriver, par force de cheval, au chiffre de $\frac{2}{3}$ 100 ou 66 kilog., auquel sont ajoutés $\frac{1}{3}$ 100 ou 33 kilog. pour l'appareil d'enroulement. Soit, pour une machine de 60 tonnes (c'est-à-dire de 600 chevaux), 40 tonnes pour le générateur et les cylindres, et pour l'appareil d'enroulement 30 tonnes au lieu des 17 tonnes demandées par M. Molinos;

2° L'expression $R = 2{,}28.R_T$ du rendement de l'appareil funiculaire résulte de deux hypothèses que voici :

D'abord, l'estimation de la résistance passive du câble moteur à $\frac{1}{16}$ de son poids. Cette valeur a été adoptée dans le mémoire de M. Molinos, qui n'en donne aucune autre aujourd'hui, et d'ailleurs sa réduction supposée notable ne pourrait avoir qu'une faible importance.

Ensuite, la représentation des résistances passives du câble d'adhérence et du locomoteur considéré comme machine, par un coefficient de $\frac{75}{100}$: ce coefficient entrant également dans les calculs relatifs au touage, sa modification ne changerait pas le rapport des rendements des deux systèmes.

M. Desmousseaux ajoute qu'il paraît illusoire, surtout dans l'état actuel de la question, de demander au calcul autre chose que des résultats approchés, et que ces résultats ne sauraient avoir qu'une valeur comparative, et non pas une valeur absolue.

En définitive, le rendement de l'appareil funiculaire étant constant, tandis que celui du toueur à vapeur varie comme les ordonnées d'une hyperbole, il est évident que les modifications, *supposées nécessaires*, des estimations précédentes (de la résistance passive du câble moteur et du poids de l'appareil de touage à vapeur) ne sauraient qu'abaisser un peu la pente de 100 millimètres, sur laquelle les deux systèmes paraissent devoir donner un rendement à peu près égal.

En résumé, si l'on admet, avec M. Molinos, que sur les pentes supérieures à 40 millimètres les locomotives ordinaires ne sauraient plus être employées, il nous paraît certain que de 40 millimètres jusqu'à 80, 100, et peut-être 110 millimètres, le touage à vapeur sera (au point de vue du rendement) plus avantageux que le système funiculaire.

M. Dubied donne ensuite lecture d'un travail sur la même question.

Tout en reconnaissant que le grand mérite du système de M. Agudio soit de permettre l'utilisation des forces hydrauliques, l'auteur pense que la dépense en combustible n'est pas en général assez importante pour faire renoncer aux avantages de simplicité et de sécurité des chariots à vapeur.

Pour augmenter le trafic, il faut placer plusieurs câbles d'adhérence. Ce problème peut être difficile; mais, sans en avoir fait l'étude, on peut dire qu'il n'a pas un ca-

ractère d'impossibilité. Deux câbles permettraient de remorquer avec un double train par heure 160 tonnes par heure, ce qui est déjà un trafic assez important.

Si l'on devait se borner à un seul câble, on pourrait cependant remorquer deux trains à la fois, en ayant soin de partager le câble en parties indépendantes à l'aide de solides paires de mâchoires installées à des distances convenables, et qui, serrant successivement le câble, empêcheraient que les tractions dues à deux trains successifs ne puissent s'ajouter.

M. Dubied aborde ensuite des considérations générales relatives au train des lignes destinées à franchir les faîtes. Il propose d'imiter l'ancien tracé des routes ordinaires, de suivre le fond des vallées jusqu'à leur extrémité, en créant une ligne à faible pente desservant dans de bonnes conditions de proximité les localités qu'elle rencontre, et pouvant être exploitée avec économie par des locomotives ordinaires, puis de s'élever ensuite sur le faîte à traverser aussi brusquement que le permettra le mode de traction le plus énergique qu'il sera possible d'imaginer.

Admettant que la vitesse de 3,600 mètres à l'heure, suffisante pour les marchandises, ne serait pas admise pour les voyageurs, M. Dubied propose la vitesse de 6 kil. avec trains de 60 tonnes à deux locomotives, ou de 30 tonnes avec un seul appareil; le rendement serait de 35 p. 100. Cette vitesse serait encore faible; mais le trajet étant raccourci dans une proportion considérable, le faîte serait en définitive franchi dans un temps assez court.

D'ailleurs, les trains de cette nature ne peuvent donner des résultats rémunérateurs pour les capitaux engagés, qu'autant qu'on pourra percevoir des tarifs kilométriques plus élevés que ceux des chemins à profil ordinaire.

M. Dubied détermine ensuite par quelques calculs la vitesse d'un train de voyageurs de 60 tonnes sur rampe de 10, remorqué par deux machines fixes de 207 chevaux l'une, comme cela a lieu à Dusino, et la vitesse du même train remorqué par deux chariots à vapeur de 200 chevaux. On trouve 7,510 mètres à l'heure, et 0,427 d'effet utile dans le premier cas, et 6,066 mètres et un rendement de 0,35 dans le second; ce qui donne un avantage au système de M. Agudio.

L'auteur termine en déclarant qu'il ne songe nullement à critiquer le système auquel il souhaite au contraire le meilleur succès; il a seulement rappelé le système de touage, parce qu'on l'a écarté trop facilement. Il est d'ailleurs intéressant d'examiner toutes les solutions qui permettront, par le franchissement des faîtes, le succès d'entreprises qu'il faut bien espérer voir réaliser par notre génération.

M. Molinos, en résumant la discussion, fait remarquer qu'il est d'accord avec M. Dubied sur les conditions qui seraient présentées par un système de touage direct au point de vue du rendement et du travail effectué, mais qu'il est séparé des conclusions de M. Desmousseaux de Givré par un écart qu'il est facile d'expliquer. Sur un plan incliné de 10 p. 100 dans les conditions qu'il a spécifiées plus haut, le câble toueur atteindrait un diamètre de 90 à 100 mill. Il faudrait donc l'enrouler sur un tambour de 5 mètres de diamètre au moins. La vitesse à la circonférence de ce tambour serait de 10 kil. De là une impossibilité complète à atteler directement la machine sur ces tambours; elle ferait 12 tours par minute; ce ne serait plus une locomotive, et les poids du cheval seraient bien autres que ceux dont on a parlé. Il faut donc une transmission, et cette transmission, composée de treuils toueurs, engrenages, châssis, roues, etc., ne peut être évaluée à moins de 17 à 20 tonnes. C'est à cet appareil que doit être adaptée la machine. Que cette dernière pèse 115 kil. par cheval ou 100 kil., comme le suppose M. Desmousseaux de Givré, cela importe très-peu et

n'a qu'une très-légère influence sur le calcul, c'est dire en effet que la machine appliquée au locomoteur pèsera 23 tonnes ou 20 tonnes; mais ce qu'il ne faut pas oublier, c'est le locomoteur lui-même, et c'est cette omission qui a causé toute la différence réelle des opinions émises devant la Société.

MM. Armand, Depérais, Denise, Lebargy, Pereire (Émile fils), Pereire (Henri), Roussin, Schneider, Vuigner fils et Xavier, ont été reçus membres sociétaires; et MM. Calard, Davillier, Pereire (Émile), et Pereire (Isaac), membres associés.

Séance du 18 Mars 1864.

Présidence de M. Petiet.

M. le Président annonce que M. Delannoy, Membre de la Société, vient d'être nommé Commandeur de l'Ordre de Charles III.

M. Sautter demande à développer les observations qu'il a présentées dans la dernière séance au sujet du pendule Foucault, en raison des modifications apportées dans le procès-verbal à celles qu'avait présentées verbalement M. de Mastaing.

Il semblerait, d'après M. de Mastaing, que M. Foucault n'aurait fait que traduire plus ou moins heureusement des principes mécaniques connus, tandis que son appareil est basé sur un principe que personne n'avait formulé avant lui.

Ce principe est celui de la variation du poids du manchon, suivant une loi déterminée, présentée comme condition rigoureuse de l'isochronisme du pendule de Watt.

On savait que la vitesse du pendule variait avec la hauteur des boules et avec le poids du manchon; mais on n'avait pas eu l'idée de se servir d'une de ses variations pour compenser l'autre, ou, si quelques essais empiriques avaient été tentés dans ce sens, ils prouvent mieux que tout le reste que l'on ignorait complétement la loi suivant laquelle les variations de poids devaient se faire pour que la compensation eût lieu.

C'est à l'aide de cette loi que M. Foucault peut obtenir un isochronisme absolu, mathématique, ou s'en rapprocher autant qu'il le désire, par le simple déplacement d'un contre-poids.

M. Sautter maintient que, contrairement à l'idée émise par M. de Mastaing, les solutions du problème au moyen de poids tombent nécessairement dans l'une ou l'autre de celles qu'il a indiquées dans la dernière séance.

Il n'admet pas que la sensibilité du pendule soit proportionnelle au poids des boules. Cela n'est vrai qu'en ce sens, que des boules plus lourdes permettent de vaincre, à variation de vitesse égale, une plus grande résistance de la valve, ont, en d'autres termes, un pouvoir réglant plus considérable, mais cela ne change rien au défaut de sensibilité résultant de ce qu'un petit changement de vitesse n'amène qu'un petit changement de position des bras; l'isochronisation fait seule disparaître cette insensibilité, et permet d'augmenter indéfiniment l'amplitude des oscillations produites par un même changement de vitesse.

M. Sautter ne saurait admettre que la grande sensibilité du pendule ne doive être recherchée que là où le travail de la machine est régulier; c'est au contraire là où les variations de travail sont le plus considérables et le plus brusques, dans les forges, les scieries, etc., qu'il est le plus nécessaire d'avoir un moyen puissant et prompt de tenir la machine en bride.

M. de Mastaing fait observer qu'on a, depuis bien longtemps, cherché à donner au régulateur la faculté de rester plus au moins ouvert sans changer la vitesse normale de la machine. A sa connaissance, le procédé suivi dans les ateliers consiste à dessiner le régulateur dans diverses positions, et connaissant la vitesse normale qu'il doit avoir, on calcule l'effort qu'il faut exercer sur le manchon dans chacune de ces positions, et on détermine par tâtonnements le poids et le calage d'un contre-poids qui produisent l'effort voulu dans chacune des positions considérées. Cette solution est satisfaisante.

M. le Président demande à M. de Mastaing s'il pense qu'il y aurait quelque inconvénient à ce que l'on applique un régulateur trop bien équilibré?

M. de Mastaing répond qu'il a voulu seulement faire observer que dans ces appareils le contre-poids introduit pour produire l'équilibre est établi dans des conditions qui dépendent de la vitesse normale de la machine, et que si l'on veut modifier cette vitesse, il faudrait aussi modifier la position du contre-poids, et qu'il y a des chances pour qu'on le fasse mal ou pas du tout, de sorte que l'équilibre cesserait d'être parfait, malgré les conditions rigoureuses d'établissement.

M. de Mastaing fait observer que si l'on veut équilibrer une portion du poids du manchon, on est conduit à placer un contre-poids sur un levier horizontal, lequel contre-poids, composé avec celui qui doit être sur le levier vertical, donne un contre-poids unique, résultant des deux autres, et placé sur un levier oblique, conformément à la solution pratique déjà connue.

Le régulateur de M. Foucault fait, à M. de Mastaing, l'effet d'une balance trébuchant au milligramme mise entre les mains d'un charbonnier.

M. Sautter dit qu'il ne faut pas confondre la délicatesse des fonctions avec la délicatesse des organes. Le régulateur Foucault opère très-délicatement en même temps que très-énergiquement: il accepte pour lui la comparaison de la balance. C'est une balance qui, chargée de 100 kilogr., peut, si l'on veut, trébucher au milligramme, mais dont la sensibilité peut être diminuée dans une proportion quelconque, qu'on peut rendre à volonté paresseuse, indifférente ou folle, et cela en conservant à l'appareil une bien grande simplicité. En résumé, le régulateur de M. Foucault, plus simple que les autres régulateurs, que celui à bras et bielles croisés de M. Farcot par exemple, est en même temps le plus sensible.

M. Farcot demande la parole. — Il ne l'a pas fait dans la dernière séance, parce qu'il n'a pas voulu paraître faire une réclamation personnelle; cependant, aujourd'hui, en présence des assertions de M. Sautter, d'après lesquelles le régulateur de M. Foucault serait une véritable et grande découverte dans son principe et constituerait un système bien plus simple que le régulateur à bras et bielles croisés et bien préférable à tous les systèmes connus, M. Farcot croit devoir présenter quelques observations.

Les systèmes de leviers que M. Foucault adapte au pendule conique ordinaire, pour le rendre isochrone ou à équilibre constant, paraissent à M. Farcot être des solutions tout à fait analogues à celle que M. Charbonnier de Mulhouse a imaginée d'une manière beaucoup plus simple, avec grand succès, comme on sait, il y a vingt ans, et

que MM. Farcot ont modifiée, il y a dix ans, en renversant son mode d'action, pour l'appliquer à leur détente variable. Au lieu de faire soulever le manchon par le contre-poids inférieur à bras de levier variable de M. Charbonnier, MM. Farcot ont fait agir ce contre-poids par surcharge croissante pour fermer le pendule, le maximum de surcharge ayant lieu en bas de la course des boules, afin de compenser ainsi les différences successives des vitesses correspondantes aux différences successives des longueurs de pendules et obtenir une vitesse normale constante pour toutes les positions du système.

Les régulateurs équilibrés par un contre-poids qui décharge le manchon peuvent devenir un peu paresseux, tandis que les régulateurs équilibrés par surcharge seront beaucoup plus actifs et puissants, les forces qui agissent sur tous leurs membres croissant comme les carrés des vitesses ; mais aussi les articulations pourront s'user et gripper plus facilement ; le régulateur à bras croisés, étant équilibré par son tracé même, ne présente aucun de ces inconvénients ; il est de plus indépendant de toute erreur de calcul, étant le résultat d'un tracé graphique que l'œil vérifie facilement.

Il est au contraire bien plus facile de se tromper quand il s'agit d'établir des compensations numériques entre les effets dynamiques des masses matérielles qui constituent le pendule conique ordinaire et réel, bien différent du pendule théorique composé d'axes fictifs et dont les boules seules sont supposées matérielles.

Le système de régulateur équilibré par surcharge que M. Farcot vient de décrire n'était pas obtenu empiriquement, comme on le suppose, mais par calculs rigoureux effectués pour chaque position, en tenant compte, autant que possible, des effets de toutes les masses matérielles.

Il l'a appliqué à plusieurs machines, dont une de 150 chevaux ; il a donné des résultats satisfaisants, mais beaucoup moins complets que ceux du régulateur à bras et bielles croisés qu'il a réalisés plus tard.

Ce dernier régulateur est le plus simple de tous, car le pendule seul avec ses bras et ses bielles croisés constitue un système équilibré par son tracé même, sans autre addition pour beaucoup de cas ; si MM. Farcot y ajoutent un contre-poids accessoire, c'est pour obtenir un équilibre tout à fait mathématique, qui n'est pas nécessaire dans la plupart des machines.

Tous les régulateurs ou modérateurs qui ont été cités dans la dernière séance, comme fonctionnant bien, paraissent agir, sauf celui de M. Charbonnier, sur des valves ou papillons et régler en étranglant la vapeur.

Il est toujours facile de régler suffisamment une machine au moyen d'un modérateur ou pendule quelconque, quand il agit de cette manière : en effet, la résistance du papillon étant très-faible, on peut toujours, en augmentant la puissance du pendule, soit par accélération, soit par accroissement de la masse des boules, lui donner le pouvoir de conduire le papillon au moyen d'une très-petite variation angulaire des boules et d'une petite course du manchon transformée ensuite en grande course sur le papillon, par un rapport convenable du levier usuel.

Mais la théorie et l'expérience démontrent que ce règlement par étranglement constitue un fort mauvais emploi de la vapeur qui travaille ainsi dans le cylindre à une pression bien moindre que celle de la chaudière.

C'est sur la détente qu'un régulateur peut agir d'une manière rationnelle, mais alors on rencontre des difficultés bien plus grandes que de l'autre façon ; car il faut produire sur le manchon du pendule une action énergique, prompte et à grande

course, et c'est en raison des difficultés que présente la réalisation pratique de cette action que, dans certains appareils, comme ceux de MM. Tenbrinck et Dyckoff et d'autres, on a cherché à faire agir le régulateur à la fois sur la détente et sur le papillon : les résultats de cette disposition ne sont pas partout satisfaisants comme régularité; mais, en principe, ce mode d'action ne peut être considéré comme aussi rationnel et économe de vapeur que celui qui règle par la détente.

Quant à l'équilibre du pendule au moyen de ressorts agissant sur le manchon, MM. Farcot ont donné cette solution dans une demande de brevet, il y a deux ans, en indiquant que le ressort doit produire sur le manchon son maximum d'effort en bas de la course du pendule et qu'il doit, par conséquent, être placé sur la transmission ou l'organe qui gouverne le papillon ou la came de détente et qui possède un mouvement en sens inverse de celui du pendule; ce ressort serait attaché sur le levier inférieur à la place du contre-poids.

Il a été dit qu'un régulateur complétement isochrone ou équilibré serait essentiellement instable; cela serait vrai s'il n'avait pas de frottements, mais il en aura toujours, et de plus on peut régler l'isochronisme à la limite que l'on veut : M. Farcot a d'ailleurs des dispositions simples et efficaces qu'il n'indique pas maintenant pour donner aux régulateurs complétement équilibrés toute la stabilité et la précision désirables en leur conservant la plus grande sensibilité et un isochronisme rigoureux.

M. Sautter s'incline devant la grande expérience de M. Farcot; il n'a pas eu la prétention de dire qu'avant M. Foucault personne n'eût tenté d'isochroniser le pendule de Watt : il connaît et admire le régulateur à bras croisés; mais ce n'est là qu'une solution approximative et obtenue avec des organes très-compliqués, tandis que celle de M. Foucault est rigoureuse et fort simple.

Quant à l'emploi d'un levier incliné avec contre-poids, breveté il y a dix ans par M. Farcot, il constitue une solution empirique, et ce qui le prouve, c'est l'inclinaison du levier, qui, suivant la théorie, devrait être vertical.

M. Desmousseaux de Givré demande à rectifier une assertion émise dans le résumé présenté par M. Molinos sur la discussion de l'appareil funiculaire.

M. Desmousseaux de Givré déclare : qu'il a toujours compris le poids du *locomoteur* (poulies d'enroulement, treuils et poids correspondants de châssis, roues, etc.) dans les 100 kilog. (par force de cheval) de la locomotive de touage; qu'il n'y a pas là d'omission à laquelle il faille attribuer la divergence des opinions énoncées, et qu'il ne voit en définitive aucun motif de modifier en quoi que ce soit les divers résultats qu'il a eu l'honneur de présenter à la Société.

M. Desbrière, ayant eu récemment l'occasion d'assister en Angleterre à des expériences entreprises en vue de l'application du système de traction à l'aide du troisième rail, a pensé qu'il serait intéressant de faire connaître à la Société les résultats de ces expériences. Tel est le but de son travail.

Le mémoire de M. Desbrière est divisé en deux parties : la première est consacrée à la description sommaire des procédés employés par M. Fell, et des résultats d'expérience auxquels il est arrivé; la seconde à la discussion des procédés et des résultats.

Première partie. Les essais ont eu lieu sur le chemin de Cromford à High-Peack (chemin qui dessert la partie du district houiller central ouest, comprenant les villes de Stocport et de Congleton), au point où ce chemin vient se souder à la ligne de Manchester-Sheffield et Lincolnshire-railway, c'est-à-dire près de la station de Whaley-Bridge.

Un plan incliné de 1/14 (0m,072 par mètre) de 180 yards (145m,80) de longueur, tracé en alignement droit, part de la station de Whaley-Bridge et est desservi par une machine fixe avec câbles et poulies. Ce plan étant à deux voies, de 1m,45 de largeur, M. Fell a obtenu de la Compagnie l'autorisation d'établir sur la voie montante deux rails de plus, dont l'un, écarté de 1m,10 du rail extérieur, complète avec lui une voie à l'écartement de 1m,10, et dont l'autre, porté sur longrine, entre ces deux derniers, est destiné à donner le supplément d'adhérence nécessaire pour l'ascension du plan incliné. Sur le palier, qui commence au sommet du plan incliné de Whaley-Bridge, M. Fell, se détachant de la ligne de Cromford, a abordé un coteau sur lequel il a établi une rampe dont l'inclinaison moyenne est de 0,083 et varie entre 0m,076 et 0m,100 par mètre, dont la longueur est de 150 yards (137 mètres) et qui présente en plan quatre courbes et contre-courbes se suivant sans interposition de parties droites et avec un rayon à peu près constant de 50 mètres.

Le rail central est du même modèle que ceux de la voie courante, c'est-à-dire à deux champignons du poids de 36 kilos le mètre. Il est posé à plat, son axe horizontal à 0m,20 à peu près au-dessus de la surface du roulement des rails extérieurs.

Il est fixé, par l'intermédiaire de coussinets, à une longrine de 0m,20 de hauteur, boulonnée aux traverses de la voie. Sur le premier plan, à inclinaison de 0,072, et en alignement droit, les coussinets sont en fonte et espacés d'un mètre en moyenne; sur le second plan, où les courbes sont très-roides, les coussinets en fonte n'auraient pas pu résister à la réaction horizontale très-violente exercée par le rail lui-même et par les roues horizontales de la machine, il a fallu employer des coussinets en fer beaucoup plus rapprochés (0m,50 de distance en moyenne).

Le rail est fixé aux coussinets par des boulons qui traversent son axe, les coussinets sont fixés à la longrine au moyen de chevillettes en fer.

Les joints de ce rail sont maintenus à l'aide d'éclisses du modèle ordinaire. Près des joints, les coussinets sont écartés d'environ 1m,20, au lieu de 0m,50.

La locomotive est une machine tender pesant vide 14t,4 et 16t,5 avec l'eau et le charbon.

La surface de chauffe totale est de 41m,85.

Elle est alimentée par un injecteur Giffard placé horizontalement à la partie supérieure de la boîte à feu. Les soutes à eau sont placées près du corps cylindrique.

La machine se compose réellement comme mécanisme de deux machines distinctes, ayant chacune ses cylindres, son régulateur et son levier de changement de marche. La première est destinée à agir par l'adhérence naturelle que donne le poids de la machine sur les rails de la voie; la seconde, par l'adhérence artificielle que donne la pression latérale sur le rail central.

La première machine est à deux cylindres extérieurs de 11 pouces 3/4 ou 0m,298 de diamètre, 18 pouces ou 0m,457 de course, à quatre roues couplées dont le diamètre de roulement est de 2 pieds 3 pouces (0m,606), l'écartement des essieux étant de 5 pieds 3 pouces (1m,601).

La seconde machine est également à deux cylindres, disposés, entre les roues, sur un même axe horizontal parallèle à l'axe longitudinal de la chaudière. L'un est situé sous la boîte à fumée, l'autre un peu en avant de la boîte à feu; les tiges de leurs pistons sont dirigées l'une vers l'autre; celle du cylindre d'avant agit par l'intermédiaire de deux bielles à double fourche articulées sur la même crosse, sur les manivelles d'un premier système de deux roues horizontales placées de part et d'autre du rail central, et dont les jantes, munies de boudins à la partie inférieure, sont en contact

avec les deux surfaces de roulement de ce rail ; celle du cylindre d'arrière agit sur un second système semblable. Deux bielles d'accouplement, parallèles à l'axe longitudinal de la chaudière, réunissent l'une des deux roues horizontales de gauche, l'autre celles de droite. Au milieu de la longueur de ces bielles sont placés des tourillons sur lesquels s'articulent deux bielles motrices à double fourche qui viennent se réunir sur la crosse du cylindre d'arrière, dont le piston agit ainsi en concordance avec le piston du cylindre d'avant.

Afin de passer les points morts facilement, les roues horizontales portent à la partie inférieure un second système de manivelles calées à angle droit sur les manivelles supérieures et de dimensions plus faibles.

Le peu d'espace dont on disposait pour l'installation de ce mécanisme a forcé à s'écarter, pour les dimensions relatives des bielles et des manivelles, des proportions adoptées dans la pratique ; il en résulte une très-grande obliquité entre les bielles et les manivelles dans certaines positions et par suite de fortes variations dans la pression des roues horizontales sur le rail central et dans l'effort de traction qui en résulte.

Le diamètre des roues horizontales est de 1 pied 4 pouces (0^{m},406), celui des cylindres agissant sur ces roues de 11 pouces (0^{m},279), la course des pistons de 12 pouces (0^{m},305).

Chacune des roues horizontales est calée sur un arbre vertical très-court terminé par deux tourillons frottant dans des coussinets en bronze. Ces coussinets sont mobiles dans des glissières ; ils sont poussés vers le rail central par des ressorts en spirale, dont une disposition particulière permet de régler la tension au moyen d'un volant à manivelle placé à proximité du mécanicien.

Cette tension peut être portée à 3 tonnes par roue, soit 12 tonnes pour les 4 ; elle n'était dans les expériences que de 2 tonnes par roue ou 8 tonnes en tout.

Des boîtes à sable ordinaires permettent d'augmenter l'adhérence sur les rails latéraux ; on entraîne également du sable sur le rail central au moyen d'un jet de vapeur.

La machine est munie de deux freins. Le premier et le plus énergique se compose de deux sabots en fonte disposés de part et d'autre du rail central, et s'en rapprochant sous l'action d'un système de leviers et de vis pouvant déterminer une très-forte pression. Malheureusement ce frein n'a pu être placé qu'à une des extrémités de la machine, le centre étant occupé par le mécanisme des roues horizontales, de sorte qu'il ne peut servir qu'en ligne droite. Il faut donc en courbe recourir au second frein qui se compose d'un simple sabot en bois agissant, à l'aide d'une vis de pression, sur le bandage d'une des roues verticales de l'essieu d'arrière.

Les wagons pèsent vides 2^{t} 1/2, qui avec 4^{t} 1/2 de chargement forment un poids total de 7^{t}. Ce sont de simples cadres, avec tampons secs, à roues en fonte et munies de ressorts ordinaires de suspension. Chaque wagon est muni d'un frein à main ordinaire, agissant sur deux roues simplement. L'écartement des essieux est de 1^{m},60 environ. Chaque wagon est muni à son centre, et, sous le châssis, de quatre galets directeurs destinés à agir sur le rail central et à empêcher dans les courbes les bourrelets des roues de frotter contre les rails extérieurs.

M. Desbaière rend compte ensuite des essais auxquels il a assisté le 23 janvier 1864.

La machine arrêtée au pied de la rampe de 0,072 a facilement remonté cette rampe en remorquant 4 wagons de 7^{t}, malgré l'oxydation des rails qui diminuait l'adhérence.

Le train a parcouru le palier, et arrivé au pied de la rampe de 0m,083 à 0m,100, les wagons étant dételés, la machine a été lancée seule sur la rampe en faisant agir seulement le mécanisme extérieur ; la machine s'est élevée de quelques mètres ; mais l'adhérence ayant manqué, elle s'est arrêtée ; on a ouvert alors le régulateur du mécanisme intérieur, et la machine a remonté la rampe avec la plus grande facilité. L'essai a été répété plusieurs fois, et la vitesse a été évaluée par les assistants à 20 kilom. à l'heure.

La machine a ensuite remonté un, puis deux wagons, à une vitesse de 15 à 17 kilomètres, ensuite trois et quatre wagons (soit en la comprenant 44t de poids brut) à une vitesse d'abord évaluée de 10 à 12 kilomètres, mais que des observations plus précises ont montré n'être que de 8 kilomètres. Cette dernière expérience est de beaucoup la plus intéressante, puisqu'elle donne la limite de puissance de la machine.

A chaque expérience, la machine redescendait et remontait plusieurs fois la rampe, s'arrêtait au milieu de sa longueur par le serrage des freins, puis repartait les freins serrés, le train partie en courbe, partie en contre-courbe, et toujours avec une égale facilité.

Pendant toutes ces expériences, la pression sur les roues horizontales a été maintenue à 2t sur chaque roue. L'état du feu était excellent. La pression du manomètre n'est jamais descendue au-dessous de 7 à 8 atmosphères effectives. Le temps était beau ; toutefois, au début, la surface des rails était recouverte d'une couche pulvérulente d'oxyde qui diminuait l'adhérence ; mais elle n'a pas tardé à disparaître. Rien dans la voie ni dans la machine n'a paru souffrir ; lorsque le train redescendait machine en queue, les galets du wagon de tête dirigeaient parfaitement le train le long du rail central, et les boudins étaient toujours éloignés des bords des rails de la voie.

De temps en temps, on remarquait du patinage, tantôt sur les rails de la voie, tantôt sur le rail central. On pouvait alors observer des traces de détérioration sur les rails et les bandages. M. Desbrière attribue ces effets fâcheux à l'indépendance des deux mécanismes ; l'intention de M. Fell est de les rendre solidaires à l'avenir ; mais la première machine construite étant une machine d'essai, il y avait intérêt à étudier à part les deux systèmes de progression par adhérence, c'est ce qui a conduit à l'indépendance des mécanismes.

Deuxième partie. — M. Desbrière cherche d'abord à déterminer quel a été le coefficient d'adhérence dans l'expérience où la machine, usant de ces deux mécanismes, a remorqué le train brut de 44 tonnes sur la pente de 83 millimètres, se fondant d'abord sur l'expérience où la machine, usant de l'adhérence naturelle donnée par le poids, n'a pas réussi à se remonter elle-même sur cette rampe ; il en conclut une résistance de 30 kilogr. par tonne de pression pour le mécanisme intérieur. Admettant 3 kil. par tonne pour les wagons, et 9 kil. par tonne pour la résistance du mécanisme extérieur, il arrive au chiffre de 10k,50 comme résistance moyenne du train brut, en palier et en ligne droite. Ajoutant 6k,50 pour les courbes et 83 kilog. pour la gravité, la résistance totale s'élèverait alors à 100 kil. par tonne, ce qui suppose 4,400 d'effort de traction. La machine pesant 16 tonnes moyennement, l'adhérence utilisée a été d'environ 0,18.

M. Desbrière cherche ensuite quel a été, dans cette même expérience, le travail effectif de la vapeur, et quelle consommation on en peut déduire dans l'unité de temps. La pression effective ayant été de 7 atmosphères et demie, et la vitesse de 8 kilomètres à l'heure, ou 2m,22 par seconde, il trouve, en admettant la détente à moitié de la course, un travail théorique de 6,570 kilogrammètres pour le mécanisme

extérieur, et de 7,000 kilogrammètres pour le mécanisme intérieur. En tout, 13,570 kilogrammètres. Le travail effectif à réaliser étant de 4,400 × 2m,22 ou 9,760 kilogrammètres, devrait donc être environ 70 centièmes du travail théorique.

Quant à la consommation de vapeur par heure, elle serait de 237 mètres cubes 984 pour les cylindres extérieurs, et de 236 mètres cubes 232 pour les cylindres intérieurs; en tout 474 mètres cubes 216. A la pression de 7 atmosphères et demi, le poids de 1 mètre cube de vapeur étant de 3k717, on en conclut 1662 kilogrammes d'eau vaporisée par heure, ce qui revient à 11 litres par mètre carré de surface de chauffe et par heure. M. Desbrière conclut de ces chiffres, qui ne dépassent pas sensiblement les moyennes admises et résultant de l'expérience, qu'avec du combustible de bonne qualité la machine pourrait soutenir la vitesse de 8 kilomètres à l'heure avec un train brut de 11 tonnes, et que sous ce rapport l'expérience faite n'est pas, comme on aurait pu le penser, un tour de force obtenu en faisant produire à la machine, pendant un faible parcours, un développement de travail qu'elle n'aurait pas pu entretenir sur une plus grande étendue.

Arrivant au principe même du système, M. Desbrière montre que la machine de M. Fell pèse 138 kilogrammes par force de cheval, tandis que la machine à quatre cylindres de M. Petiet ne pèse pas plus de 90 kilog. par force de cheval. Ce résultat est dû à la présence du mécanisme intérieur, et constitue une infériorité inévitable pour la machine Fell. Jamais cette machine ne pourra atteindre, et à plus forte raison dépasser, les allégements acquis pour les locomotives ordinaires, puisqu'elle se compose d'une machine ordinaire à laquelle s'ajoute le surcroît de poids du mécanisme intérieur. Une autre infériorité manifeste, c'est la résistance additionnelle développée par ce même mécanisme, et qui dans une expérience n'a pas été inférieure à 30 kilog. par tonne de pression, alors que les locomotives les plus défectueuses sous ce rapport n'ont jamais donné plus de 20 kilog. Ces deux défauts propres au système du deuxième rail ont été prévus par tout le monde; mais les expériences de M. Fell permettent d'en faire la part, et de voir quelle réduction elles apportent à la puissance de la machine.

Or, étant donné une chaudière de locomotive d'une surface de chauffe déterminée, et par suite d'un poids donné, capable d'une production de vapeur également déterminée, on conçoit que le travail effectif de la vapeur équivaut au produit de deux facteurs, l'un la vitesse de marche, l'autre l'effort de traction. Si l'on veut transmettre ce travail aux roues d'une locomotive ordinaire agissant par son poids, on comprend qu'il est impossible de réduire la vitesse au-dessus d'une certaine limite, parce qu'alors l'effort de traction dépassant la limite de l'adhérence, la machine patinerait, à moins de la surcharger par du lest. Si au contraire on transmet ce travail au mécanisme d'une machine agissant partie par son poids, partie par touage sur un rail central, la vitesse peut être réduite, et l'effort de traction accru d'une manière en quelque sorte indéfinie; et le minimum de pression à appliquer sur le rail central est déterminé par la condition de compenser la perte de force qu'occasionne le supplément de poids dû au mécanisme intérieur, et l'excès de résistance propre à ce mécanisme.

En appliquant ces principes aux essais de Whaley-Bridge, en comptant le supplément de poids donné par le mécanisme intérieur à 2 tonnes, et la résistance de ce mécanisme à 30 kilog. par tonne de pression, M. Desbrière fait voir que sur la pente de 83 millimètres, la machine Fell peut développer, avec 8 tonnes de pression sur le rail central, un effort de traction de 4 tonnes et demie supérieur à ce qu'il aurait été

si ces 8 tonnes de pression avaient été obtenues par une surcharge donnée aux roues verticales. Avec 12 tonnes de pression, le gain serait de 8 tonnes environ.

Ayant essayé de traduire ces résultats par des courbes, dont les ordonnées seraient les efforts à développer pour la traction d'un même train de 100 tonnes sur diverses rampes, et ayant tenu compte de la variation du coefficient de résistance moyen du train avec la pente, variation due à l'influence de plus en plus prédominante de la machine dans le train brut, et à la supériorité de sa résistance propre sur celle des wagons, M. Desbrière soumet à la Société diverses courbes obtenues avec les coefficients d'adhérence, 0,10, 0,12, 0,15, 0,20. M. Desbrière fait voir que l'allure des courbes est toute différente quand on fait varier le coefficient d'adhérence, et que dans le cas de l'adhérence 0,10, la supériorité du plan incliné, avec câble et poulies, sur la machine locomotive, commence pour des inclinaisons comprises entre 35 et 40 millimètres.

En ce qui concerne le système de touage par le troisième rail, personnifié par une locomotive ayant une pression complémentaire égale à son propre poids, M. Desbrière fait voir qu'en palier et pour les pentes au-dessous de 40 millimètres, l'avantage de ce système sur la locomotive ordinaire est insignifiant, quel que soit le coefficient d'adhérence; qu'au delà l'avantage devient sensible, et sur la machine ordinaire et sur le plan incliné, pour des coefficients d'adhérence compris entre 0,10 et 0,15; qu'enfin lorsque le coefficient d'adhérence varie de 0,15 à 0,20, l'avantage des deux systèmes de locomotive sur le plan incliné est de plus en plus sensible, mais que l'avantage du touage par le troisième rail sur la locomotive ordinaire va sans cesse en diminuant. D'où il suit qu'un accroissement artificiel d'adhérence par les boîtes à sable ou tout autre procédé permettrait à la locomotive de conserver sa supériorité sur tous les systèmes de traction connus, et de ne présenter qu'une infériorité insignifiante vis-à-vis du touage par le troisième rail. C'est ainsi, pour le dire en passant, que peuvent s'expliquer les résultats surprenants de l'exploitation du chemin de fer de Richmond à l'Ohio, où des pentes de 7 centimètres sont franchies couramment par des locomotives. C'est dans l'adhérence exceptionnelle donnée par le climat qu'il faut chercher l'explication de ces faits.

M. Desbrière termine en faisant remarquer la différence considérable des résultats d'expérience qu'il a fait connaître avec ceux annoncés à l'Académie des sciences par M. le baron Séguier dans la séance du 11 janvier dernier, et où il n'était question que d'une pente de 50 millimètres remontée par une machine de 15 tonnes avec un train utile de 30 tonnes à une vitesse de 10 kilomètres. La vitesse s'est trouvée réduite à 8 kilomètres, mais la pente a été portée à 83, soit deux tiers en sus de celle annoncée par M. Séguier.

M. le Président, ayant demandé si les pièces de la machine de M. Fell étaient capables de résister à un service pénible et prolongé, M. Desbrière répond que la machine Fell était essentiellement une machine expérimentale; il ajoute que M. Fell en a étudié une propre à un service régulier, et il donne lecture d'une lettre signée d'un des premiers constructeurs anglais, s'engageant à livrer pour le mont Cenis des machines de son système, capables de traîner un train brut de 40 tonnes, machine comprise, à la vitesse de 12 kilomètres, ou un train brut de 50 tonnes à la vitesse de 9 kilomètres. La surface de chauffe serait de 610 pieds carrés (60 mètres environ), et le poids de la machine inférieure à 20 tonnes, en y comprenant l'eau de la chaudière, plus 2 tonnes d'eau, et 1/2 tonne de coke comme approvisionnement.

Messieurs d'Arcangues, Calabre, Contamin, Lancel, Martin, Michaud, Deroide, Mauget, Petit et Vuillemin ont été reçus Membres Sociétaires.

NOTE

SUR LES CHAUSSÉES EN ASPHALTE COMPRIMÉ.

PAR M. LÉON MALO.

L'établissement et l'entretien des chaussées de Paris sont devenus depuis quelques années un grave sujet de préoccupation pour l'administration municipale; l'accroissement de la circulation en général, et en particulier celui du nombre des voitures, suit une progression tellement rapide et si difficile à formuler par une loi, que nul ne peut prévoir où il s'arrêtera; aussi le service de la voirie parisienne ne paraît-il pas sans inquiétude sur l'avenir. M. le préfet de la Seine lui-même, dans le rapport présenté en 1861 au conseil municipal, exprimait en ces termes son sentiment : « Le pavé de Paris est de plus en plus difficile à maintenir en « bon état, les grès de bonne qualité deviennent rares, les plus durs ne « sont pas assez tenaces d'ailleurs pour bien résister à la fatigue d'une « circulation qui a doublé depuis quelques années, car le nombre des « voitures circulant dans Paris, qui était de 21,690 en 1853 montait, déjà « à 38,763 en 1859. » Quant au macadam « qui s'est emparé de toutes les « grandes artères de Paris et qui s'étend à mesure qu'elles se développent à travers la ville, il est une cause de dépenses inquiétante par la « progression ascendante qu'elles suivent sous la double action de l'accroissement des surfaces à entretenir et de la circulation qui les sillonne, et en même temps un véritable fléau pour les piétons, ce qui « n'est pas un détail de peu d'importance dans un pays démocratique « comme le nôtre. »

Je ne veux pas faire leur procès au macadam et au pavé, ni renchérir sur les anxiétés de M. le préfet de la Seine; cependant je ne puis me dispenser de compléter par quelques détails techniques les explications renfermées dans l'extrait qu'on vient d'entendre, afin de montrer à quel point les matériaux employés à la voirie sont insuffisants et combien il est nécessaire de recourir à de nouveaux expédients.

L'antique pavé de grès, qui depuis Louis XI supportait tout le poids de la circulation parisienne, se trouve dépaysé au milieu du prodigieux mouvement qui douze ou quinze heures par jour envahit maintenant la moitié des rues de la capitale. Sous cette irrésistible action les blocs se disloquent, les angles et les arêtes s'émoussent, la surface se déforme et

se bosselle; les joints absorbent les matières organiques répandues sur le sol, délayées par le brouillard ou la pluie, et les restituent à l'atmosphère sous forme de miasmes au premier rayon de soleil; ainsi, cahots, tapage, humidité malsaine ou sécheresse délétère, tels sont aujourd'hui dans les rues fréquentées les effets du pavé de grès.

Pour éviter ces défauts rendus de jour en jour plus insupportables par le développement du roulage, on a essayé de substituer au grès des roches plus dures, notamment le porphyre belge. On aurait certainement obtenu ainsi des résultats très-satisfaisants, si d'autres inconvénients provenant de l'excès même de ses qualités n'avaient rendu ce nouveau pavage dangereux à fréquenter. En effet, on avait d'abord, pour éviter les cahots et la boue, taillé et ajusté les blocs avec un tel soin, que le joint était presque supprimé; après une circulation de quelques mois, la surface se polissait et rendait le glissement des chevaux imminent. Cet essai, dont on peut voir un échantillon rue Taitbout, n'a pas pris de développement sérieux.

On eut alors recours à un tempérament qui en atténuant ce grave défaut en fit renaître un autre, un des plus fâcheux de l'ancien pavé; on espaça les blocs de porphyre en donnant aux joints une largeur de deux à trois centimètres, on retomba ainsi dans les cahots et dans la boue. On a cependant à peu près remédié au mal dans la rue Drouot en remplissant les joints d'un mortier de chaux hydraulique; le pavé ainsi consolidé présente une surface dure et sonore, mais homogène et résistante.

Telle est la limite de perfection atteinte jusqu'à ce jour par le pavé, et cependant on sait quelle autorité et quelle compétence, en matière de voirie, possèdent les ingénieurs du service municipal de Paris; s'ils ne sont pas parvenus à mieux faire, c'est probablement que le pavé a dit son dernier mot, et il est à craindre qu'il ne soit désormais, du moins dans les rues très-passagères, au-dessous de sa tâche.

Quant au macadam, j'aurais trop beau jeu, en cette saison surtout, à le combattre. Le macadam n'a été et ne sera jamais dans les grandes villes qu'un système de transition : introduit à Paris, sous le couvert d'une nécessité stratégique, il n'a subsisté jusqu'ici, (et Dieu sait au milieu de quelles imprécations!) que parce qu'on n'a rien trouvé pour mettre à sa place, et que dans certaines voies, d'où le pavé était proscrit, il fallait bien marcher sur quelque chose; on m'accordera facilement, sans que j'aie besoin de répéter ce qu'on a dit cent fois de la boue proverbiale du macadam, de sa poussière si funeste aux voitures, aux magasins et aux appartements riverains, que ce système était condamné avant d'être adopté et que si son provisoire a déjà quinze ans de durée, c'est que chez nous rien n'approche du définitif comme le provisoire.

On a tenté et l'on tente encore tous les jours d'incalculables efforts pour approprier le macadam; on a perfectionné son arrosage en été et

son balayage en hiver; on a substitué à grands frais le caillou de granit au caillou calcaire; on a multiplié les cantonniers; chaque matin les désordres de la veille sont réparés avec une rapidité et un soin incroyables; mais dès que le torrent de la circulation s'est de nouveau emparé du sol, le fléau reprend ses droits, et pendant au moins trois cents jours de l'année, la chaussée redevient un océan de boue ou un amas de poussière infecte. Le macadam est imperfectible, la science des plus habiles ingénieurs s'est vainement épuisée à prouver le contraire.

Tel est l'état actuel de notre voirie; son bilan n'a, comme on voit, rien de très-rassurant, et c'est à l'instant même où la ville de Paris, tout entière aux soins de ses embellissements, aurait le plus besoin que nulle tache ne fît contraste avec sa nouvelle et magnifique transformation, que cette impuissance se révèle avec le plus d'opiniâtreté.

Devant une semblable situation, les chercheurs n'ont pas fait défaut; cent systèmes ont été proposés : on a imaginé des pavages de toutes formes, de toutes substances; on en a fait en bois, en fonte, en caoutchouc, que sais-je? Beaucoup de ces systèmes sont mort-nés; d'autres à peine viables ont cependant, comme le pavage en bois, assez vécu pour fixer l'attention du public et se préparer une chute plus bruyante. Un seul de tous est resté debout, et après dix années d'un rude et laborieux noviciat est parvenu à se poser comme le rival sérieux du pavé et du macadam, c'est l'*asphalte comprimé*.

Je crois le moment venu d'entretenir la Société de ce remarquable perfectionnement. Ce n'est pas un essai dont je vais parler, c'est un procédé pratique adopté par l'administration municipale et qui a fait largement ses preuves, puisque la surface des chaussées en asphalte comprimé établies dans Paris dépasse, à l'heure qu'il est, *cent mille* mètres carrés.

Les principes qui dirigent l'application de l'asphalte aux chaussées diffèrent si essentiellement de ceux qui régissent son emploi dans la construction des trottoirs, qu'avant d'aller plus loin il me paraît utile d'entrer dans quelques détails sur l'origine de la matière première, sur sa préparation et sa pose.

L'asphalte est un carbonate de chaux parfaitement pur, imprégné naturellement, d'une manière très-intime, d'une petite quantité de bitume qui varie entre 6 et 10 p. 100. Cette roche s'exploite par bancs réguliers de 4 à 7 mètres de puissance à Seyssel, département de l'Ain; au Val-de-Travers, dans le canton de Neufchâtel en Suisse, et sur plusieurs autres points de la même région jurassique.

Si l'on porte l'asphalte à une température voisine de 100°, le bitume d'imprégnation qui forme le liant des molécules se ramollit, les grains se séparent et la roche tombe en poussière; si pendant que cette poussière est encore chaude on la comprime dans un moule, les molécules se recollent les unes aux autres et la matière reprend par le refroidissement,

mais sous la nouvelle forme qu'on lui a donnée, l'aspect, la dureté et en général toutes les propriétés que la roche possédait au sortir de son gisement.

Toute la théorie des chaussées en asphalte est là.

Supposons qu'au lieu d'enfermer la poudre chaude dans un moule, on l'étende sur un sol résistant, en donnant à la couche une épaisseur de quatre ou cinq centimètres, et que, soit au pilon, soit au rouleau, on comprime cette couche, on obtiendra, lorsqu'elle sera refroidie, une croûte monolithe absolument semblable à la roche primitive.

Voici comment est conduite l'opération dans les travaux actuellement en cours à Paris.

La roche expédiée de la mine est transportée dans des ateliers spéciaux où elle est mécaniquement broyée et réduite en poudre, puis passée dans des réchauffeurs où sa température est élevée à 140° environ; dans cet état elle est conduite au lieu d'emploi; malgré les distances considérables qu'elle parcourt souvent pour se rendre à pied d'œuvre, la poudre enfermée dans des caisses *ad hoc* perd à peine dix ou quinze degrés de chaleur pendant le trajet.

La forme de la chaussée à asphalter a été préalablement recouverte d'une couche de béton de dix centimètres d'épaisseur; sur cette couche bien desséchée (nous verrons plus loin combien ce desséchement est nécessaire) on étend la poudre d'asphalte chaude, on la pilonne au moyen de dames en fonte, puis on la comprime successivement avec trois rouleaux, le premier de 200 kilogr., le second de 800 kilogr. et le troisième de 1,800 kilogr., jusqu'à ce qu'elle soit réduite à une épaisseur uniforme qui, pour la ville de Paris, a été fixée à cinq centimètres.

Deux ou trois heures après le passage du dernier rouleau la chaussée est assez refroidie et par suite assez résistante pour être livrée à la circulation.

Rien n'est plus simple, comme on voit, que l'application de ce système, si ce n'est peut-être l'historique de sa découverte. L'invention du procédé qui paraît destiné à régénérer la voirie de Paris est due au hasard : les charrettes qui transportaient l'asphalte des mines aux usines où se prépare le mastic destiné à la confection des trottoirs, laissaient souvent tomber sur les chemins des fragments que les roues écrasaient; lorsque la route était couverte de ces débris et que le soleil survenait, la décrépitation se produisait spontanément et les voitures comprimant petit à petit la poudre accumulée finissaient par former une croûte solide qui n'était autre chose qu'une chaussée naturelle en asphalte comprimé.

Ce fut un ingénieur suisse, M. Mérian, qui, le premier en 1849, mit à profit cette leçon du hasard et construisit, sur la route cantonale qui traverse la petite ville de Travers, une chaussée en asphalte.

Malgré l'instabilité de son assiette et l'irrégularité de son entretien, cette chaussée est encore en parfait état.

En 1850, M. Darcy, inspecteur général des ponts et chaussées, après avoir visité les systèmes en usage à Londres et dont la variété, comme on sait, est infinie, déclarait dans un rapport adressé au ministre des travaux publics [1], « que la solution de la question si importante et si con-« troversée de la viabilité dans les villes se trouve dans l'emploi judi-« cieux de la roche asphaltique, » il allait même jusqu'à en proposer l'application immédiate sur une partie des boulevards.

Ce ne fut cependant qu'en 1854, que la première chaussée en asphalte comprimé fut par les soins de MM. Homberg, ingénieur en chef, et Vaudrey, ingénieur ordinaire du service municipal, établie à Paris rue Bergère, sur les débris d'un essai où le bitume avait joué un rôle, mais qui n'avait vécu que quelques mois. Depuis ce moment la chaussée de la rue Bergère, sauf la portion située en face de la rue du Conservatoire et qui est en asphalte coulé comme les trottoirs, n'a jamais été réparée.

A partir de 1854, le système des chaussées en asphalte s'est développé suivant une progression rapide.

En 1854, les premiers essais occupaient une surface de 7 à 800 mètres, quatre ans plus tard cette surface s'élevait à 8,000 mètres, aujourd'hui, comme je l'ai dit tout à l'heure, elle est supérieure à cent mille mètres carrés.

Les chaussées publiques ne sont pas d'ailleurs le seul débouché de l'asphalte comprimé; les cours de l'hôtel du Louvre, du Grand-Hôtel, des gares de l'Ouest et du Nord, et d'un grand nombre de maisons particulières ont reçu des applications dont le nombre tend chaque jour à s'accroître, moins peut-être à cause de la solidité de la surface qu'à cause de son insonorité qui, dans ce cas spécial, est son avantage le plus recherché.

Il ne faut pas croire cependant que le système qui fait l'objet de cette communication ait été préservé des écoles et des mécomptes inséparables de toute innovation qui cherche sa voie; les épreuves n'ont pas manqué. Sans parler des difficultés nombreuses qu'il a fallu traverser pour arriver à une bonne préparation de la matière, difficultés à peine vaincues en ce moment, le nouveau procédé s'est trouvé en face de la défiance, ou tout au moins de la timidité que rencontre toute idée nouvelle chez les mieux disposés et les plus compétents. Un incident que je ne puis passer sous silence, car il a eu tout le monde pour témoin, est venu même porter aux chaussées en asphalte un coup dont elles ne se seraient pas relevées, si elles n'avaient su trouver dans un échec apparent les éléments d'un nouveau succès. Je veux parler de la réfection de la rue Neuve-des-Petits-Champs.

1. *Annales des ponts et chaussées*, 2e série, 1850.

L'administration municipale avait résolu, en 1859, de substituer l'asphalte au pavé de la rue Neuve-des-Petits-Champs; la saison était avancée et pluvieuse, c'est-à-dire aussi défavorable que possible, on se mit néanmoins à l'œuvre. Le travail fut des plus pénibles; on ne parvint jamais à sécher le béton, et l'on fut obligé, dans l'impossibilité où l'on se trouvait, d'obstruer longtemps une rue aussi fréquentée, de poser la poudre sur des surfaces humides. Au bout de quelques jours des affaissements se manifestèrent sur toute la longueur de la rue, la croûte asphaltique se dégrada, on fut obligé de l'enlever; on s'aperçut alors que la poudre chaude posée et comprimée sur du béton mouillé avait vaporisé l'eau qui, cherchant à s'échapper, avait pénétré l'asphalte, l'avait désagrégé et réduit en une poussière que la circulation des voitures n'avait pas eu de peine à disperser; on découvrit, en outre, que la couche de béton sous-jacente avait été établie sur le remblai glaiseux d'un égout fraîchement construit. Ce remblai non pilonné n'avait pas tardé à tasser en disloquant le béton et par conséquent l'asphalte qui n'ayant aucune résistance propre avait cédé partout où le béton avait cédé lui-même. La chaussée de la rue des Petits-Champs, reconstruite dans de meilleures conditions, s'est parfaitement comportée depuis.

Construite comme je l'ai indiqué plus haut et avec les précautions que l'expérience a enseignées, la chaussée en asphalte comprimé jouit des propriétés suivantes :

Elle ne produit ni boue ni poussière.

Elle est parfaitement insonore.

Elle diminue d'une manière très-notable le tirage des chevaux.

Elle réduit les frais d'entretien des voitures dans une proportion qu'il est difficile de fixer dès ce moment, mais qui, lorsque des quartiers tout entiers seront asphaltés, ne peut manquer d'être considérable.

Enfin, l'absence de chocs et de cahots influe très-certainement, et c'est du reste l'opinion de M. Darcy, sur la durée et la stabilité des constructions riveraines.

J'ai dit que les chaussées en asphalte ne produisaient ni poussière, ni par conséquent de boue; en effet, elles ne s'usent pas d'une manière appréciable, elles diminuent d'épaisseur, il est vrai, pendant la première année de service, mais uniquement parce que la circulation des voitures, achevant le travail commencé par les pilons et le rouleau, continue à comprimer la croûte asphaltique jusqu'à ce qu'elle ait pris la dureté et la densité du calcaire le plus compacte. Après ce premier effet passé, l'usure annuelle est à peine d'un millimètre; la matière asphaltique ne donne donc naissance ni à la poussière, ni à la boue; elle reçoit seulement celles apportées des chaussées environnantes ou produites par le fumier des chevaux et les ordures rejetées des maisons voisines; un lavage journalier suffit pour l'en débarrasser.

Les chaussées en asphalte sont insonores : je n'ai pas besoin d'insister sur un pareil avantage, dont la valeur s'apprécie, surtout aux environs des grandes administrations, des bibliothèques, de tous les établissements où le silence est nécessaire. Aussi est-ce précisément devant les ministères de la rive gauche, devant l'hôtel du Crédit foncier, devant le Palais-Royal et la bibliothèque Impériale, que les premières applications ont été faites. Des pétitions sont à chaque instant adressées à M. le préfet de la Seine, par les habitants des rues bruyantes, pour obtenir que l'asphalte y remplace le pavé. Quelques personnes reprochent à l'asphalte, comme un grave défaut, cette insonorité qui semble cependant être une de ses plus précieuses qualités : « On n'entendra pas, dit-on, venir les « voitures, et l'on sera sans cesse exposé à se faire écraser. » Je ne crois pas que, dans l'espèce, l'absence de bruit puisse être plus dangereuse que le bruit lui-même; on risque au moins autant de se faire écraser quand on entend vingt voitures que lorsqu'on n'en entend aucune. Je ne sache pas qu'on ait eu depuis dix ans un seul accident semblable à déplorer; on cherchera d'ailleurs et l'on trouvera facilement le moyen d'avertir les piétons, ne fût-ce qu'en attachant des grelots aux chevaux. Les cochers de Paris ont trop l'intelligence de leurs intérêts pour ne pas s'arranger de façon à n'écraser personne.

Le tirage des chevaux est sensiblement moindre sur l'asphalte que sur le pavé ou sur le macadam fraîchement rechargé; il est facile de s'en convaincre en examinant les différences d'efforts musculaires exercés par les chevaux attelés, lorsqu'ils passent de l'une à l'autre chaussée; on peut faire la même observation sur les hommes conduisant des voitures à bras.

Il semble de prime abord évident que l'entretien des voitures doit se ressentir d'une manière très-notable de la suppression des cahots. M. Darcy, dans le mémoire que j'ai cité plus haut (pages 262 et 263), estime que les frais d'entretien et de renouvellement des chevaux et des voitures diminueraient de moitié, si, au lieu de circuler sur le pavé, ils circulaient sur l'asphalte. En admettant cette proportion que M. Darcy regarde comme un minimum, on trouverait, en l'appliquant aux chiffres indiqués par M. le préfet de la Seine, et en évaluant à 120 fr. les frais d'entretien et de renouvellement des chevaux (les Compagnies d'assurances demandant à elles seules 10 p. 100 par an de la valeur des chevaux), et 300 fr. en moyenne ceux d'une voiture,

45,000 chevaux à 120 fr. l'un.	5,400,000 fr.
39,000 voitures à 300 fr. »	11,700,000 »
Total.	17,000,000 fr.

dont la moitié, soit 8,500,000 fr., représenterait l'économie annuelle réalisée par les chaussées en asphalte au profit des propriétaires de che-

vaux et de voitures, en supposant que tout Paris fût asphalté; pour avoir l'économie actuelle, il n'y aurait qu'à établir le rapport entre le total des surfaces asphaltées et celui des surfaces pavées.

Je n'insiste pas sur l'influence que la suppression des cahots peut exercer sur la stabilité des maisons; c'est une opinion personnelle à plusieurs ingénieurs d'une autorité respectable, mais qu'il est difficile d'appuyer par des chiffres.

A tous ces avantages des chaussées en asphalte, avantages incontestés aujourd'hui, on a opposé un inconvénient, qui, s'il était aussi réel qu'on l'assure, aurait certainement une extrême gravité.

On a dit que l'asphalte était impraticable aux chevaux de luxe, et particulièrement aux chevaux de selle, parce qu'il était trop glissant. Je demande la permission d'entrer dans quelques développements sur ce point et de rectifier une erreur à laquelle les apparences ont, j'en conviens, donné jusqu'ici les allures d'une réalité.

Les chaussées en asphalte, lorsqu'elles n'ont pas de trop fortes pentes ou un bombement trop prononcé, ne sont pas plus glissantes que le pavé de grès, elles le sont par conséquent beaucoup moins que le pavé de porphyre; le service municipal s'en est assuré à plusieurs reprises par des comptages faits avec grand soin. Voici un des résultats de ces comptages.

On a relevé pendant deux mois de suite le nombre de chevaux abattus dans la rue de Sèze, pavée en blocs de grès cubiques de 0,23, et dans la rue Neuve-des-Capucines, dont la chaussée est en asphalte comprimé, on a trouvé dans la rue de Sèze un cheval abattu sur 1,308 circulants.

Dans la rue Neuve-des-Capucines, un cheval abattu pour 1,409 circulants.

La proportion est donc sensiblement la même.

Le macadam seul avait, au point de vue du glissement, l'avantage sur l'asphalte. Cet avantage est positif et doit être apprécié par tous les propriétaires de chevaux de luxe; mais, outre que cette supériorité n'a d'intérêt que pour un nombre relativement très-limité de personnes, elle ne saurait être mise en balance avec les nombreux et insupportables défauts des chaussées empierrées. Il n'est pas d'ailleurs bien certain que, même pour les chevaux de luxe, le macadam soit désirable; car, s'il est vrai que les chutes y soient rares, il est vrai aussi qu'un cheval abattu sur une chaussée macadamisée et nouvellement rechargée est ordinairement un cheval perdu.

La chaussée en asphalte n'est pas glissante par elle-même, mais elle acquiert souvent cette fâcheuse propriété, soit par l'importation de la boue qui reflue des chaussées pavées du voisinage, soit par la formation de cette poussière savonneuse provenant du fumier des chevaux, et qui, dispersée par les roues des voitures, finit par enduire toute la surface. Cette poussière, déjà glissante à l'état sec, le devient davantage encore

lorsque le brouillard ou la pluie fine l'humecte et la transforme en une boue grasse qui lubrifie la surface et la rend éminemment propre au glissement.

Rien n'est plus simple et plus facile que de faire disparaître cette boue; un lavage à grande eau exécuté toutes les vingt-quatre heures au moyen des bouches d'arrosage suffit pour en débarrasser la chaussée. Lorsque la circulation est telle, que l'arrosage devienne difficile, on se contente de saupoudrer la surface d'une très-légère couche de sable: Il est à remarquer que la boue du macadam ne rend pas la chaussée asphaltique glissante comme fait la boue du pavé; toutes les passerelles des Champs-Élysées qui sont en asphalte, et constamment recouvertes par la boue de la chaussée empierrée, n'ont jamais donné lieu à aucun accident.

En somme, les chaussées en asphalte, lorsqu'elles sont tenues propres, ce qui est facile, ne sont pas plus dangereuses que les autres. Ceci ressort de toutes les observations, et l'on peut s'en rapporter, pour l'exactitude de ces observations, à la prudence des ingénieurs du service municipal qui les ont faites. Je pense que la frayeur de l'inconnu, une défiance naturelle pour tout ce qui est nouveau, et peut-être aussi les accidents survenus à l'origine des essais, lorsque le système d'entretien était encore à l'état d'étude, ont seules donné naissance à une crainte que rien ne justifie plus, mais qui, comme toutes les craintes sans fondement, ne s'effacera pas de longtemps. Le public est d'ailleurs enclin à se frapper des faits insolites et à leur donner des proportions exagérées, tandis qu'il en laissera passer d'autres très-graves sans y prendre garde, parce qu'il y est habitué; il remarquera un cheval tombé sur l'asphalte, il en parlera comme d'un événement et il en conclura volontiers que l'asphalte est dangereux, tandis qu'en voyant un cheval s'abattre sur le pavé, il ne s'avisera jamais d'en déduire que le pavé est glissant; qu'un effroyable accident de voiture arrive, qu'une diligence roule dans un précipice et s'y perde corps et bien, rien n'est plus ordinaire; depuis deux mille ans, les voitures versent dans les précipices; mais que deux trains se rencontrent, qu'un voyageur y perde la vie, peu s'en faudra que les journaux ne réclament la suppression des chemins de fer.

Il me reste à traiter la question au point de vue financier et à comparer les prix de premier établissement et d'entretien des chaussées en asphalte avec ceux des autres systèmes en usage.

Ici je laisse parler les chiffres.

L'asphalte comprimé, tel qu'il est appliqué aujourd'hui par la ville de Paris, coûte, béton compris :

De premier établissement.	fr. 15 le mètre carré.
D'entretien annuel.	1 25 »
Le pavé en porphyre belge de premier établissement.	18 à 22 »

D'entretien annuel. . . . . de 50 c. à 1 fr. 50 c.

selon le mode de pose du pavé, les joints serrés représentant le *minimum* et les joints larges le *maximum*.

Enfin, le macadam en granit (dans les voies fréquentées) :

De premier établissement. . . . . 7 fr.
D'entretien, ... de 2 fr. 50 c. à 3 fr.

Il faudrait ajouter au prix d'entretien du macadam les frais qu'il impose au service des eaux pendant la mauvaise saison par les flots de boue que le balayage envoie dans les égouts et dont il faut ensuite les débarrasser.

Ainsi l'asphalte est plus coûteux d'établissement que le macadam, mais il l'est beaucoup moins d'entretien.

Il est moins coûteux que le pavé de porphyre, mais son prix d'entretien est supérieur.

Il n'est donc pas possible d'établir dans cet ordre d'idée une comparaison très-exacte entre les trois systèmes, et les chiffres que je viens de citer n'ont d'intérêt que combinés avec toutes les autres considérations qui militent pour ou contre chacun de ces systèmes; il n'entre pas du reste dans le cadre de cette note de discuter leur plus ou moins de valeur au point de vue du budget, mon intention étant de rester dans l'étude purement technique de mon sujet.

On s'est inquiété de savoir, en prévision de l'immense consommation que Paris allait faire de l'asphalte, si les mines actuelles ne finiraient pas par s'épuiser. Je crois que toute crainte à ce sujet serait chimérique; la mine du Val-de-Travers et surtout celle de Seyssel, suffiront, pendant bien des années, à l'établissement et à l'entretien des chaussées de Paris; il n'est pas possible de prévoir à quelle époque elles s'épuiseront, ni même si elles pourront s'épuiser, car on ne connaît pas la limite des bancs; mais, dût-on se trouver en présence de cette éventualité, elle ne devrait pas être à redouter, car tout le terrain jurassique, depuis le département du Bas-Rhin jusqu'en Savoie, est certainement très-riche en asphalte; des affleurements se montrent partout; il ne s'agit que de trouver les gisements, et on les trouverait, sans aucun doute, si le besoin venait à s'en faire sentir.

Enfin, pour terminer cette monographie des chaussées en asphalte, j'ajouterai que leur entretien est d'une simplicité telle, que la circulation s'aperçoit à peine de l'embarras que causent les réparations. Lorsqu'une portion de chaussée, soit par une dégradation naturelle, soit par suite de l'installation des tuyaux d'eau et de gaz ou de la construction des égouts, doit être changée, on découpe la partie à refaire et on la remplace par de la poudre chaude que l'on comprime au pilon. On remet ainsi une pièce à la chaussée, comme on remet une pièce à une étoffe.

J'achève ici cette note, je crois avoir indiqué tout ce qui peut intéresser le système que je me suis proposé de décrire. Je ne me dissimule pas cependant que mon exposé est tout à fait insuffisant pour donner une idée exacte de la pratique, et je crois que la visite des ouvrages en cours d'exécution serait, pour les personnes désireuses de se faire une opinion complète, le plus utile complément du travail que la Société vient d'entendre.

Nota. — Voir la discussion qui a eu lieu sur cette note dans les séances du 22 janvier et 5 frvrier, pages 38 et 43.

NOTE

SUR UN THÉORÈME DE GÉOMÉTRIE.

PAR EM. **DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ.**

La réduction, effectuée par Euler, de tout mouvement d'un corps solide en trois translations suivant trois axes quelconques perpendiculaires entre eux, et trois rotations autour des mêmes axes, m'a conduit à chercher une réduction analogue de toute déformation d'un élément infinitésimal :

Je suis en effet arrivé au théorème suivant :

Toute déformation d'un élément infinitésimal se réduit :

1° *A une rotation* (*changement d'orientation mais non de forme*).

2° *A une déformation proprement dite, résultant de trois dilatations ou contractions suivant trois axes rectangulaires généralement déterminés.*

Démonstration : Plaçons en un point o de l'élément considéré l'origine d'un système d'axes quelconques, désignons par $x\ y\ z$ les coordonnées d'un point quelconque m, et par $x+u$, $y+v$, $z+w$; ce qu'elles deviennent après la déformation. $u\ v\ w$ sont des fonctions de $x\ y\ z$ que l'on peut généralement supposer développées en série :

$$(a)\quad \begin{cases} u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3z + a_4x^2 + a_5xy + \ldots\ldots \\ v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3z + b_4x^2 + b_5xy + \ldots\ldots \\ w = c_0 + c_1x + c_2y + c_3z + c_4x^2 + c_5xy + \ldots\ldots \end{cases}$$

Les termes tous connus de ces développements représenteront des translations de l'ensemble de l'élément; mouvements dont nous ferons abstraction, car nous voulons considérer la déformation proprement dite : nous ferons donc a_0, b_0, c_0 nuls. En second lieu, l'élément considéré étant supposé infiniment peu étendu, les puissances, ou produits, de x, y, z, de degré supérieur à l'unité seront infiniment petits par rapport à $x\ y\ z$, en sorte que les équations (a) se réduiront à la forme :

$$(1)\quad \begin{cases} u = a_1x + a_2y + a_3z \\ v = b_1x + b_2y + b_3z \\ w = c_1x + c_2y + c_3z \end{cases}$$

Il y a donc *relation linéaire entre les déplacements u v w et les coordonnées x y z*, et aussi, entre les coordonnées $x\,y\,z$ du système initial S_0 et les coordonnées $x+u$, $y+v$, $z+w$, du système déformé S_1.

Il en résulte, entre autres conséquences, que si l'on passe du système S_0 au système S_1 ou réciproquement :

1° Le degré initial d'une surface $F(x\,y\,z)=o$ ne change pas : ainsi, un ellipsoïde reste un ellipsoïde, un plan reste un plan.

2° Un tissu de parallélipipèdes égaux, déterminés par les intersections de trois systèmes de plans parallèles et équidistants conserve les mêmes caractères ; les parallélipipèdes élémentaires demeurent égaux entre eux : ceci exprime que la matière se déforme d'une manière identique en tous les points de l'élément.

3° Dans chacun des deux systèmes, dans S_1 par exemple, un pareil tissu T_1 construit parallèlement à 3 plans diamétraux conjugués d'un ellipsoïde E_1, correspondra dans l'autre système à un tissu T_0 parallèle à trois plans diamétraux conjugués de l'ellipsoïde E_0 transformé de E_1.

Si donc E_0 est une sphère, et que l'on construise T_1 suivant les plans principaux de E_1, T_0 transformé de T_1 correspondra à 3 plans diamétraux conjugués de la sphère E_0, c'est-à-dire à 3 plans perpendiculaires entre eux. Donc on peut passer du système $E_0\,T_0$ au système $E_1\,T_1$ en effectuant successivement :

D'abord une rotation autour de l'origine afin d'amener les 3 axes rectangulaires de T_0 à coïncider avec les 3 axes X Y Z rectangulaires de T_1.

Ensuite trois dilatations ou contractions exprimées par des équations de la forme :

$$(2)\qquad \begin{cases} U = AX \\ V = BY \\ W = CZ \end{cases}$$

et dirigées suivant les 3 axes rectangulaires X Y Z de manière à amener la coïncidence du système $E_0\,T_0$ déjà orienté, avec le système $E_1\,T_1$.

Il est à peine nécessaire de dire que ce raisonnement s'applique à un élément de forme quelconque, en sorte que le théorème formulé plus haut se trouve établi dans toute sa généralité. — C'est un théorème de pure géométrie, convenant à *tout milieu*, solide, fluide, visqueux, etc., homogène ou non. — Nous en allons tirer quelques conséquences relatives aux solides homogènes.

Applications aux corps homogènes.

I. — Réduction immédiate des coefficients qui caractérisent les propriétés élastiques a deux seulement.

En effet, dans un corps homogène, il est clair, par raison de symétrie, que les forces élastiques principales $N_1 N_2 N_3$ sont dirigées suivant les trois axes principaux de déformation X Y Z, ce qui revient à dire que si une sphère initiale E_0 devient après la déformation l'ellipsoïde E_1, E_1 a les mêmes axes que l'ellipsoïde des forces élastiques.

Ceci posé, si l'on admet que les forces élastiques principales $N_1 N_2 N_3$ sont fonctions linéaires des dilatations ou contractions, $\frac{dU}{dX}\ \frac{dV}{dY}\ \frac{dW}{dZ}$, suivant X Y Z, c'est-à-dire que l'on a :

$$(3)\qquad \begin{cases} N_1 = A_1 \frac{dU}{dX} + A_2 \frac{dV}{dY} + A_3 \frac{dW}{dZ}. \\ N_2 = B_1 \frac{dU}{dX} + B_2 \frac{dV}{dY} + B_3 \frac{dW}{dZ}. \\ N_3 = C_1 \frac{dU}{dX} + C_2 \frac{dV}{dY} + C_3 \frac{dW}{dZ}. \end{cases}$$

et si le corps est homogène, on devra avoir :

$A_1 = B_2 = C_3$, quantités que nous représenterons par $(\lambda + 2\mu)$

$A_2 = A_3 = B_1 = B_3 = C_1 = C_2$: quantités que nous représenterons par λ :

Ainsi les neuf coefficients de substance des équations (3) se réduisent à deux : soit λ et μ ; et comme toutes les forces élastiques au point o sont fonctions des 3 forces principales $N_1\ N_2\ N_3$; elles ne dépendent que des deux coefficients de substance λ et μ : C. Q. F. D.

Il est à peine nécessaire de dire que la valeur du coefficient E d'élasticité de traction est donnée par la formule :

$$\frac{1}{E} = A_1 - \frac{2A_2^2}{A_1 + A_2} = \frac{3\lambda + 2\mu}{1 + \frac{\lambda}{\mu}}.$$

II. — Démonstration immédiate du théorème de M. Clapeyron.

Il est aisé de voir que le travail des forces élastiques exprimées par les

équations (3), nécessaire pour produire la déformation U V W, est, si l'on désigne par $dx\,dy\,dz$ le volume de l'élément considéré :

$$dT=\frac{1}{2}\left[E\left(N_1+N_2+N_3\right)^2-\frac{1}{\mu}\left(N_1N_2+N_2N_3+N_1N_3\right)\right]dx\,dy\,dz$$

donc pour un corps, de volume $\int\int\int dx\,dy\,dz$, on a :

(4) 2Σ Tr. forces extérieures $=$:

$$\int\int\int\left[E\left(N_1+N_2+N_3\right)^2-\frac{1}{\mu}\left(N_1N_2+N_2N_3+N_1N_3\right)\right]dx\,dy\,dz$$

expression où entrent les forces principales en chaque point. Si l'on voulait en leur place considérer les forces ($N_1\,N_2\,N_3\,T_1\,T_2\,T_3$) rapportées à des axes quelconques, comme la théorie de l'ellipsoïde des forces élastiques [exposée au chap. V, *de la théorie de l'élasticité* de M. Lamé] établit aisément que :

$$N_1+N_2+N_3=\text{constante F indépendante des axes ;}$$

$N_1N_2+N_2N_3+N_1N_3-T_1^2-T_2^2-T_3^2=$ constante G indépendante des axes, on aurait, en substituant ces valeurs dans (4) :

$$2\Sigma\text{ Tr. forces extérieures}^1.=\int\int\int\left[EF^2-\frac{G}{\mu}\right]dx\,dy\,dz$$

expression la plus générale du théorème de M. Clapeyron.

III. — Application a la torsion.

Lorsqu'un cylindre, à base de cercle par exemple, est tordu autour de son axe 0′ 0″, il est facile de trouver :

1° Que les axes principaux de déformation X Y Z en un point O quelconque sont :

L'un O Z par exemple *normal à un cylindre* C concentrique au cylindre donné et passant au point O.

Les deux autres O X, O Y, *tangents au cylindre* C et inclinés à 45° sur 0′ 0″.

2° Que suivant O Z il y a déplacement nul $W=0$, et que suivant O X et O Y il y a dilatation et contraction égales :

$$U=-V$$

On arrive aisément à ces résultats en examinant la déformation d'un

1. Soit dans la notation de M. Lamé : $\Sigma\,(Xu+Yv+Zw)\,\pi$.

carré infinitésimal situé à la surface du cylindre C, et placé de manière que deux de ses côtés soient parallèles à 0′ 0″.

Par les torsions ce carré devient un losange, les deux diagonales restent perpendiculaires, l'une s'est allongée d'une certaine quantité σ, l'autre s'est raccourcie de la même quantité σ.

Lorsqu'avec la torsion sera combinée une traction ou une compression, une traction par exemple, on aura $W < o$; de plus l'axe de dilatation O X se sera relevé et rapproché de la direction de 0′0″; l'axe de compression O Y s'en sera éloigné : Enfin l'on aura $U > -V$.

Revenons au cas de la simple torsion : si tout ce qui précède est vrai jusqu'à la rupture, il y a lieu de penser qu'en un point O la rupture tend à se produire perpendiculairement à l'axe de traction O X, c'est-à-dire suivant O Y, c'est-à-dire suivant la tangente à une hélice inclinée à 45° sur 0′ 0″ : donc les cassures causées par une torsion devront s'étendre, au moins en partie, suivant des hélices inclinées à 45°. C'est précisément ce que l'expérience vérifie sur les matières les plus diverses, depuis le bâton de craie ou de cire à cacheter que l'on casse à la main, jusqu'au fil d'acier.

C'est le lieu de rappeler que par une théorie récente, M. Revin, ingénieur civil, a démontré que les fils des ressorts à boudin travaillaient presque uniquement par torsion : s'il en est ainsi, ils doivent casser suivant des hélices inclinées d'environ 45°; c'est en effet ce qui a lieu tous les jours et pour des spirales de balances de locomotives, construites avec des fils de 5 millimètres de diamètre, et pour des spirales de choc des wagons construites avec des barres de 100 à 500 millimètres q.

IV. — Représentation graphique des propriétés élastiques des corps.

Lorsqu'on a déterminé pour un corps les deux coefficients de substance, il faut, pour compléter la connaissance de ses propriétés élastiques, chercher à quelles limites les déformations cessent d'être élastiques pour devenir permanentes.—La réduction de toutes les déformations à 3 dilatations ou contractions U V W suivant 3 axes perpendiculaires démontre que les limites d'élasticité sont définies par une surface que représenterait une certaine équation.

$$F(U_1\ V_1\ W_1) = o \qquad (5)$$

Ainsi pour deux déformations U_1 V_1 déterminées, cette équation donnerait la limite correspondante de W :

$$W_1 = \varphi(U_1\ V_1)$$

En soumettant un cylindre à des efforts de traction ou compression, et de torsion, combinés en proportion variable, on connaîtrait un nombre

considérable de points de cette surface. Ils correspondent aux cas les plus utiles pour la pratique, à savoir : ceux où les déformations U V W sont dues à deux forces de genre opposé N_1 N_2, la troisième force N_3 étant nulle.

Le cas d'un élément soumis, soit à 2 forces de même genre, soit à 3 forces, est plus difficile à réaliser.

Le théorème qui fait l'objet principal de ce mémoire peut se démontrer aisément par la méthode que voici :

On part des équations (1) et l'on cherche de nouveaux axes des coordonnées rectangulaires X Y Z, sous les trois conditions, que dans le nouveau système on ait entre les nouveaux coefficients A B C les trois relations :

$$A_2 = -B_3, \text{ que nous poserons} = -\omega_x$$
$$A_3 = -C_1 \ldots\ldots\ldots\ldots = +\omega_y$$
$$B_1 = -C_2 \ldots\ldots\ldots\ldots = -\omega_z$$

de telle sorte qu'on arrive aux équations :

$$U = A_1 X - \omega\ Y + \omega_y\ Z$$
$$V = B_2 Y - \omega_z\ X + \omega_x\ Z$$
$$W = C_3 Z - \omega_y\ X + \omega_z\ Y$$

dans lesquelles les six termes en ω représentent trois rotations autour des trois axes ; reste donc pour expression de la déformation proprement dite le système (2) :

$$(2) \qquad \begin{cases} U = AX \\ V = BY \\ W = CZ \end{cases}$$

auquel nous étions déjà parvenus par une autre voie.

Nous remarquerons enfin, que dans l'expression la plus générale (a) du mouvement d'un élément infinitésimal :

1° Les termes $a_0\ b_0\ c_0$ de degré zéro représentent le *mouvement de translation.*

2° Les trois termes du 1er degré $a_1 x$, $b_2 y$, $c_3 z$ représentent trois dilatations ou contractions suivant les axes :

De ces termes seuls dépend la dilatation résultant de l'élément qui est égale à :

$$a_1 + b_2 + c_3$$

quantité indépendante des axes.

3° Les six autres termes du 1er degré représentent individuellement des glissements parallèles aux trois axes, glissements qui ne procurent aucun changement de densité :

Dans leur ensemble, ces six termes représentent les trois ***mouvements de rotations*** **et des déformations qui, combinées avec les trois termes** a_1x, b_2y, c_3z, donnent en résumé, comme nous l'avons fait voir, trois dilatations ou contractions suivant trois axes perpendiculaires entre eux.

Voici d'autres applications qui feront l'objet d'un second travail :

Application à la flexion.

Des cassures en général et des moyens de reconnaître à leur aspect sous quels efforts une pièce a rompu.

Détermination des pièces creuses ou en treillis; direction des mailles en chaque point.

NOTE

SUR

UN NOUVEAU RÉGULATEUR ISOCHRONE

DE M. LÉON FOUCAULT,

PAR M. L. SAUTTER.

Le pendule conique ou pendule de Watt est employé comme régulateur dans les machines à vapeur en raison de la propriété qu'il possède de se mouvoir, pour un angle donné des bras, avec une vitesse constante déterminée par la formule

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

dans laquelle l exprime la projection du bras sur l'axe vertical autour duquel la rotation s'opère.

La longueur de cette projection, et par suite la vitesse du pendule varient avec l'angle des bras, et réciproquement une variation dans la vitesse du moteur qui commande le pendule entraîne une variation de l'angle des bras.

C'est le mouvement de ces bras, s'élevant ou s'abaissant pour aller chercher la position appropriée à la vitesse de rotation que le moteur leur imprime, que l'on utilise dans les machines pour ouvrir ou fermer les orifices d'introduction de vapeur, ou faire varier la détente.

Théoriquement on peut considérer l'élévation ou l'abaissement des bras du pendule comme le premier indice de la rupture d'équilibre entre le travail moteur et le travail résistant de la machine et comme le premier emploi du travail positif ou négatif rendu disponible par suite de cette rupture.

En même temps qu'il signale ce défaut d'équilibre, le pendule tend à

le faire disparaître, en agissant sur la valve d'admission de vapeur ou sur la détente, c'est-à-dire en modifiant le travail moteur.

Mais, en rétablissant l'équilibre, le pendule ne rétablit pas la vitesse : au contraire, à la position nouvelle qu'il a prise correspond forcément une vitesse différente, d'autant plus éloignée de la première que la variation du travail moteur ou du travail résistant a été plus considérable.

L'effet du pendule de Watt n'est donc pas de conserver à la machine une vitesse constante, mais de permettre à celle-ci de ne varier que dans des limites déterminées, et d'autant plus étendues que l'amplitude des oscillations est plus grande, et que dans la position moyenne l'angle des bras est plus ouvert. On ne peut, dans un pendule ordinaire, resserrer ces limites qu'en diminuant l'amplitude des oscillations et l'angle moyen des bras et par conséquent la course du manchon dans le passage d'une position extrême à l'autre.

En isochronisant le pendule, c'est-à-dire en faisant en sorte que dans toutes les positions angulaires il ait la même vitesse, on peut augmenter jusqu'à une valeur quelconque l'amplitude des oscillations et l'angle des bras dans la position moyenne. On dispose donc, dans un pendule semblable, *d'un travail réglant* plus considérable, en désignant sous ce nom le produit de l'effort que l'on peut faire exercer par le manchon sur la manivelle de la valve sans changer la vitesse au delà d'une quantité déterminée, par le chemin que cet effort parcourt.

On peut voir clairement maintenant quelles sont, au point de vue de l'application du pendule à la régularisation des machines, les conséquences de l'isochronisme. La sensibilité de l'appareil, c'est-à-dire l'amplitude des mouvements produits par une même variation de vitesse, est indéfiniment augmentée.

Un régulateur absolument isochrone serait absolument instable, c'est-à-dire que la moindre variation de vitesse l'entraînerait d'une position extrême à l'autre. Il faut évidemment, dans la pratique, éviter d'atteindre à cet isochronisme, et par conséquent à cette instabilité absolue ; mais il est bon de pouvoir, en s'en approchant à volonté, augmenter dans la même proportion la sensibilité du pendule.

L'isochronisation du pendule permet indirectement d'en augmenter la promptitude. De ce que le travail réglant de l'appareil, à masse et à longueur égale, est plus considérable, il résulte que l'on peut pour un même travail réglant diminuer la longueur des bras, augmenter par conséquent leur vitesse, et faire qu'ils obéissent dans un temps plus court aux variations de vitesse de la machine.

La disposition imaginée par M. Foucault permet de donner au pendule de Watt l'isochronisme absolu, pour un angle quelconque des boules, ou de s'en approcher autant que l'on veut, et d'augmenter par là, dans une proportion indéfinie, la sensibilité et la promptitude de cet appareil.

Je vais d'abord exposer les considérations théoriques sur lesquelles re-

pose la solution de M. Foucault. Puis je parlerai des applications qui en ont été faites dans mon établissement avec les directions et le concours de l'inventeur.

Un pendule conique se compose de deux bras articulés par une de leurs extrémités sur un axe horizontal commun fixé à un axe vertical mis en mouvement par la machine, et pourvus à l'autre extrémité d'une boule pesante. Deux autres tiges, articulées sur les premières, se réunissent par leur autre extrémité sur une douille ou manchon que l'arbre traverse, en lui servant de guide, mais en lui permettant de s'élever et de s'abaisser. Ces tiges forment avec la partie supérieure des bras un parallélogramme articulé, et traduisent les oscillations des bras en mouvements verticaux du manchon. Celui-ci est l'intermédiaire par lequel le mouvement est transmis à la valve ou à la détente de la machine.

Nous supposerons, pour simplifier la démonstration, que les tiges du parallélogramme sont articulées au milieu des bras, en sorte que les mouvements verticaux des boules et les mouvements verticaux du manchon soient égaux.

Si, faisant abstraction du poids du manchon, et en général des pièces centrées de l'appareil, c'est-à-dire des pièces qui, soumises à l'action de la pesanteur, ne le sont pas à celle de la force centrifuge, nous ne considérons que le poids des boules P, nous avons pour le temps d'une révolution du pendule

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}};$$

et comme $P = Mg$,

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{lM}{P}};$$

l étant la projection des bras sur l'axe vertical.

Si nous faisons entrer dans la formule le poids p du manchon, elle devient

$$t = \sqrt{\frac{P}{P+p}} \times 2\pi\sqrt{\frac{lM}{P}},$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{lM}{P+p}};$$

soit L la longueur des bras, et α l'angle des bras avec l'arbre vertical, nous avons :

$$l = L\cos\alpha,$$

et

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{M L\cos\alpha}{P+p}}$$

Cos α étant variable, t l'est aussi, et, pour que t devienne une constante, il faut faire disparaître cos α, en l'introduisant au dénominateur de la fraction sous le radical, en remplaçant $P+p$ par $(P+p)\cos\alpha$.

C'est-à-dire qu'il faut faire varier le poids qui agit pour abaisser les boules, et qui, dans la supposition que nous avons faite de l'égalité de mouvement vertical des boules et du manchon, est égal à la somme des poids des boules et du manchon, proportionnellement au cosinus de l'angle des bras avec l'axe vertical.

Il n'y a d'autre manière de faire varier ce poids, que d'en équilibrer une fraction variable, soit au moyen d'un ressort, soit au moyen d'un contre-poids.

On peut choisir arbitrairement le point de départ de ces variations, ou la position angulaire des bras correspondante à un poids équilibrant nul.

Si α' est l'angle des bras dans cette position, la vitesse normale du pendule, celle qu'il s'agit de lui conserver est

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{L\,M\cos\alpha'}{P+p}}.$$

Lorsque α' devient α'' et L' cos α', L cos α'', il faut, pour que la valeur de t ne change pas, que $P+p$ varie dans la même proportion, et que la fraction équilibrée de ce poids soit au poids total dans le même rapport que l'espace parcouru par le manchon dans le passage de l'angle α' à l'angle α'' est à sa course totale.

En d'autres termes, il faut opposer au manchon une force verticale nulle, lorsque celui-ci est dans sa position moyenne, égale à $P+p$, lorsqu'il est au sommet de sa course et que l'angle $\alpha = 90^0$, et qui entre ces deux valeurs extrêmes varie proportionnellement aux espaces parcourus par le manchon depuis sa position moyenne.

Cette force équilibrante doit être positive, c'est-à-dire opposée à $P+p$, lorsque les boules s'élèvent au-dessus de leur position moyenne, et négative lorsqu'elles descendent au-dessous, c'est-à-dire, qu'alors elle ne se retranche plus de $P+p$, mais s'y ajoute.

Telle est, pour le pendule de Watt, la condition nécessaire de l'isochronisme, découverte par M. Léon Foucault. Voyons maintenant par quelle combinaison mécanique elle peut être réalisée.

PREMIÈRE SOLUTION.

(Fig. 1.)

La solution la plus simple consiste dans l'emploi d'un levier coudé DOZ, dont une branche transmet au manchon la pression variable positive ou négative d'une masse Z fixée au sommet de l'autre branche. La relation

bras OZ, est nulle, et par conséquent l'action du bras OD sur le manchon est nulle aussi. Mais aussitôt que le bras OD quitte la position horizontale, le bras OZ quitte la position verticale, et une portion du poids Z proportionnelle au sinus de l'angle décrit par le braz OZ agit normalement à ce bras, avec un signe positif ou négatif, suivant que le poids penche d'un côté ou de l'autre, et est transmise intégralement par le bras OD et la barre AO sous le manchon. Pour de petits angles, le sinus de l'angle φ est égal à la corde de l'arc décrit par le point Z, qui est elle-même égale à l'espace OO', parcouru par le manchon.

Le résultat de cette disposition est donc de transmettre sous le manchon une force proportionnelle aux espaces parcourus par lui depuis sa position moyenne, de remplir, par conséquent, les conditions de l'isochronisme, dans les limites des variations de l'angle φ, dans lesquelles la corde de cet angle peut être confondue avec son sinus.

On peut évidemment, sans altérer ce résultat, faire varier les longueurs des bras de levier, pourvu que l'on fasse varier les poids en raison inverse, de manière à ce que les moments restent les mêmes.

SECONDE SOLUTION.

(Fig. 2.)

A l'extrémité A de cette barre AO, qui, dans la solution précédente, sert à transmettre au manchon l'action du levier coudé, et suivant la direction variable que cette barre prend pour les différentes positions du manchon, M. Foucault applique une force constante $= P + p$.

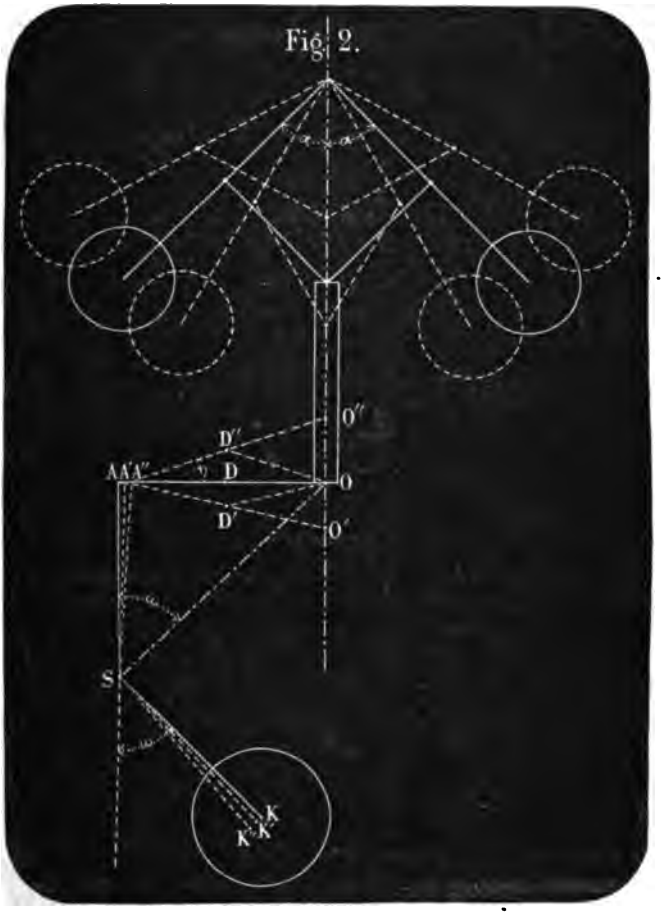
Cette force, reportée au point O, peut être décomposée en deux, une horizontale sans effet sur le manchon, et une verticale qui lui est directement opposée et tend à le soulever. Cette force verticale, nulle lorsque la barre est horizontale, acquiert, lorsque le manchon s'élève ou s'abaisse, une valeur positive ou négative proportionnelle au sinus de l'angle α ou à l'espace parcouru par le manchon. La condition de l'isochronisme est donc ainsi remplie.

Cette force constante $P + p$ qu'il faudrait exercer dans la direction variable AO', représente, lorsqu'elle est projetée sur la direction constante AO, une force variable $(P + p) \cos \alpha$, c'est-à-dire une force qui varie proportionnellement à la longueur de la ligne AO. Dès lors le problème mécanique d'exercer dans une direction variable une force constante $P + p$ peut être remplacé par le problème plus simple d'exercer, dans une direction constante, une force variable $(P + p) \cos \alpha$. M. Foucault emploie pour cela le bras AS qui dans la première solution ne servait avec le concours de la barre DO qu'à assurer la verticalité de mouvement du point O, et qui dans la solution actuelle devient en outre

la branche supérieure d'un levier coudé A S K oscillant autour du point S et dont l'autre branche S K porte un contre-poids K.

La longueur de la tige S A est arbitraire, suffisante pourtant pour que l'arc décrit par le point A puisse être confondu avec une ligne droite. L'angle ω de la branche S K avec la verticale est égal à l'angle A S O.

Fig. 2.



La composante du poids K dirigée normalement au bras S K et transmise au point A par le bras S A dans la direction A O, est égale à K sin. ω. Les petites variations de l'angle S A O, en deçà et au delà de 90°, sont trop faibles pour altérer cette valeur d'une manière sensible.

K sin. ω est une force variable comme la force $(P+p)\cos\eta$ à laquelle nous désirons qu'elle soit égale.

En raison de l'égalité de l'angle ω et de l'angle A S O, $\cos\eta = \sin\omega$, en

d'autres termes, la composante normale du poids K varie proportionnellement à la longueur de la ligne A O ; dès lors il suffit pour produire l'isochronisme de faire $K = P + p$.

Je me bornerai pour le moment à indiquer ces deux solutions, me réservant de montrer dans une prochaine communication comment le même résultat peut être obtenu par des ressorts au lieu de poids.

APPLICATION DU PENDULE FOUCAULT.

J'ai employé pour la première fois le pendule Foucault pour régulariser le mouvement d'un phare lenticulaire de premier ordre.

Le moteur est un poids d'environ 200 kil., agissant à la circonférence d'un tambour de 0,30 de diamètre et transmettant, au moyen d'engrenages convenables un mouvement de rotation lent et continu à un chariot de fonte qui porte les pièces optiques du phare.

On peut, dans cet appareil, considérer le travail moteur comme constant, mais le travail résistant est sujet à varier par suite de légères imperfections des engrenages, de l'usure inégale des galets, ou de causes accidentelles, et quand il varie, l'excès ou l'insuffisance du travail moteur se traduit par une accélération ou un ralentissement du mouvement. Le seul moyen de supprimer ces irrégularités, puisque l'on ne peut agir directement ni sur le travail moteur, ni sur le travail résistant, est de créer une résistance supplémentaire et variable, susceptible à un moment donné d'absorber l'excès du travail moteur, et lorsque cela est nécessaire s'effaçant au contraire pour le laisser tout entier disponible au profit du travail utile qu'il s'agit d'obtenir. Cette résistance accessoire est produite par les ailes d'un volant tournant avec une vitesse de 100 tours à la minute, et pouvant recevoir une inclinaison variable.

Ces ailes sont en rapport avec les bras d'un pendule de Watt. Quand par suite d'accélération de la machine les bras s'élèvent, les ailes s'ouvrent et le travail passif augmente; quand les bras s'abaissent, les ailes se ferment et le travail passif diminue.

Le défaut d'isochronisme que nous avons signalé dans le pendule de Watt des machines à vapeur, existait dans celui que nous venons de décrire; nous l'avons fait complétement disparaître en employant le système de M. Foucault et en ajoutant au pendule ordinaire, sans en changer d'ailleurs la forme, ni les dispositions générales, les organes très-simples qui ont été décrits plus haut, et qui constituent la seconde solution du problème.

Un compteur à secondes, commandé par la machine, et comparé avec un chronomètre, a permis de constater les résultats suivants :

La machine marchant à vide, avec un poids moteur de 80 kil., on a pu

porter ce poids à 200 kil. sans faire varier la vitesse. La variation de l'angle des bras du pendule, correspondant à ces deux poids, était d'environ 25 degrés, et aurait produit dans un pendule non isochronisé une variation de vitesse d'un sixième. La machine faisant tourner le phare, et le poids moteur étant de 200 kil., on a débrayé subitement sans changer le poids moteur, les bras du pendule se sont élevés instantanément d'environ 25 degrés, et il n'a pas été possible d'apercevoir le moindre changement dans la vitesse.

La machine observée pendant plusieurs heures, soit à vide, soit en charge, a marché avec une régularité comparable à celle d'une horloge ordinaire.

On obtient par le calcul le moment du contre-poids isochroniseur; mais dans la pratique, c'est par tâtonnement qu'on détermine exactement sa position. Cette position une fois trouvée, si on la dépasse, on arrive à ce résultat singulier de renverser le sens des variations de vitesse, et de faire que la vitesse diminue lorsque les boules s'élèvent, et que par conséquent en augmentant le poids moteur on ralentisse la machine au lieu de l'accélérer.

Ce fait remarquable, que le calcul permettait de prévoir, a été complétement vérifié par l'expérience.

Le succès de cette première application du pendule Foucault m'a engagé à en faire immédiatement une seconde sur la machine à vapeur de 16 chevaux qui commande une partie de mes ateliers.

Le travail demandé à cette machine varie beaucoup et d'une manière souvent très-brusque; aussi le régulateur de Watt, dont elle était pourvue, ne l'empêchait-il pas de s'emporter fréquemment. En outre, par suite des dispositions locales, il a fallu placer la valve et le régulateur qui la commande sur le tuyau de conduite de vapeur à une distance d'environ 6 mètres de la machine; malgré ces difficultés spéciales, M. Foucault n'a pas craint de réduire les dimensions de tous les organes du régulateur à une valeur minimum qu'il vaudrait évidemment mieux ne pas atteindre dans la pratique, mais qui en montre d'une manière plus frappante les propriétés caractéristiques.

Le poids de chaque boule est de 800 grammes; la longueur des tiges, de 0,20; la vitesse, de 120 tours par minute; le poids total du pendule avec ses boules et son manchon, de 5 kil. environ. L'ancien régulateur pesait 45 kil.

Un compteur à secondes, mû par le régulateur et comparé avec un appareil chronométrique, a permis de constater les résultats suivants.

Le régulateur est sensiblement isochrone; sans être encore en mesure de dire exactement dans quelles limites ses variations de vitesse peuvent être contenues, nous l'avons vu plusieurs fois tenir la seconde pendant une demi-heure.

Sa sensibilité et sa promptitude d'action sont telles, qu'on peut débrayer

subitement tous les outils mis en mouvement par la machine, sans amener une variation de vitesse sensible.

Il y a quelque chose de merveilleux dans cette transformation d'une machine à vapeur en un véritable appareil chronométrique par une simple modification apportée au pendule, et je n'ai pas besoin de signaler l'importance du nouveau service que M. Léon Foucault a rendu à l'industrie, en tirant de l'étude d'une formule mathématique de si remarquables conséquences et en donnant le premier une solution rigoureuse, simple et pratique, d'un problème d'un haut intérêt, ainsi que le prouvent les nombreux et intéressants travaux auxquels il a déjà donné lieu.

ÉTUDE

SUR

LES LOCOMOTIVES A MARCHANDISES

DE GRANDE PUISSANCE,

Nouvelles Machines du Chemin de fer du Nord. Traction économique sur les grandes lignes et les chemins accidentés,

PAR A. BRÜLL.

INTRODUCTION.

La Compagnie des chemins de fer du Nord a mis en service depuis quelques années deux types nouveaux de locomotives à marchandises : la machine de fortes rampes et la machine à quatre cylindres.

Ces machines sont au nombre de 35 pour le premier type et de 10 pour le second. Elles font un service régulier, et leur emploi a permis de réaliser dans la traction des marchandises sur la grande ligne des économies notables. De plus, ces moteurs sont particulièrement propres au trafic des lignes à rampes très-inclinées et à courbes prononcées. Deux voyages d'expérience, auxquels M. Petiet a convié récemment les ingénieurs et savants les plus intéressés aux progrès de l'art des chemins de fer, ont fourni à ce sujet des résultats tout à fait démonstratifs.

A cause de ce double point de vue, nous pensons que l'étude de ces types nouveaux de machines et l'exposé des résultats que fournit leur emploi pourront être de quelque intérêt. Aussi sommes-nous heureux que M. Petiet, sans s'arrêter à notre insuffisance, ait bien voulu nous autoriser à décrire ces machines à la Société et à lui rendre compte de leur service.

Ce travail sera divisé en deux parties : la première comprend la description et l'étude raisonnée des nouveaux moteurs; la seconde est un

compte rendu des résultats de leur service et des essais auxquels ils ont été soumis; elle renferme aussi des appréciations sur l'importance des progrès réalisés par la création de ces types de machines, et quelques indications sur le service des principales rampes de diverses lignes de chemins de fer.

PREMIÈRE PARTIE.

PRINCIPES NOUVEAUX APPLIQUÉS PAR M. PETIET A LA CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES A MARCHANDISES.

Le but recherché est d'arriver à des économies dans la traction sur chemins ordinaires et à la possibilité du franchissement des rampes accidentées. Voyons quels sont les éléments principaux de ce problème.

La réduction, pour un même trafic, du nombre des trains de marchandises amène de notables économies de personnel, en même temps qu'elle donne une plus grande sécurité et des commodités de service. Elle peut même devenir presque une nécessité sur les parties très-fréquentées des chemins de fer.

Or, pour traîner des trains très-lourds, il faut un moteur d'une grande puissance de traction. Pour exercer, à une vitesse convenable, cet effort considérable, c'est-à-dire pour produire en un temps donné beaucoup de travail moteur, il faut une grande quantité de vapeur.

Dans la plupart des locomotives, la vapeur entraîne beaucoup d'eau, et chacun sait qu'il y a là une cause importante de dépenses : il faut donc produire la vapeur la plus sèche possible.

Quant au combustible, on peut considérer aujourd'hui comme réalisée la substitution de la houille au coke pour les machines à marchandises; mais ce n'est pas encore assez dans la voie du progrès. L'énorme consommation de grosse houille pour les locomotives a causé un écart considérable entre les prix du gros et du menu, ce dernier combustible perdant de ses emplois à mesure qu'on renonçait au coke. (Les prix moyens au chemin du Nord, en 1863, de la grosse houille et du tout-venant sont à peu près de 20 fr. et de 13 fr. la tonne.) Pour utiliser ce menu, on a alors employé des briquettes, mais la main-d'œuvre de fabrication, et surtout le prix élevé du brai nécessaire à l'agglomération en rendent le prix assez élevé (17 fr. la tonne). Il y avait donc lieu de rechercher, enhardi par les succès déjà obtenus, à employer directement les menus. C'est là un élément important d'économie.

Il nous faut donc beaucoup de vapeur, de la vapeur sèche, et nous voulons la produire avec du menu charbon.

Quand on a la vapeur, rien n'est plus aisé que de produire un grand effort de traction, c'est une question de dimensions de cylindres et de roues; mais le plus difficile est de pouvoir utiliser cet effort; il faut pour cela un poids adhérent en rapport avec cet effort lui-même. Utilisons donc pour l'adhérence tout le poids de notre machine, utilisons aussi le poids des caisses à eau, des soutes à charbon, et, dans les limites du possible, celui des approvisionnements eux-mêmes.

Ainsi, pas de tender isolé, à moins que quelque solution inespérée d'un problème bien souvent travaillé ne nous apporte un mode d'accouplement admissible du tender à la machine.

Notre appareil sera donc une machine tender d'un très-grand poids et par conséquent supportée sur un grand nombre de points d'appui. Si l'on veut accoupler toutes ces roues, il faudra avoir recours à l'une de ces dispositions très-ingénieuses sans doute, mais toutes compliquées et dangereuses, qui ont été imaginées pour rendre solidaires un grand nombre d'essieux mobiles l'un par rapport à l'autre, transversalement ou angulairement. Le seul moyen d'éviter ces complications, c'est d'employer deux groupes d'appareils moteurs au lieu d'un seul et de charger chacun d'eux d'actionner la moitié des roues. De la sorte elles seront toutes motrices, et l'adhérence sera obtenue.

Mais puisque nous cherchons un moteur économique, il faut encore qu'il soit léger par rapport à sa grande production de vapeur et à sa puissante force de traction. Car la locomotive ne traîne le train, ne le remorque sur une rampe qu'à la condition de se traîner et de s'élever elle-même, et l'effort qu'elle dépense pour ce double mouvement, effort proportionnel à son poids, est perdu au point de vue de l'effet utile à obtenir. Il faut donc chercher à minimer le poids du moteur.

Enfin, si notre machine, malgré son poids considérable, le grand nombre de points d'appui qui la portent et l'embase énorme qu'elle va occuper sur les rails, doit parcourir des courbes de petits rayons, il faudra, par quelque artifice, permettre à ces nombreuses roues de s'inscrire commodément entre les rails.

Le problème pourrait donc se poser ainsi :

Obtenir une forte production de vapeur sèche avec du menu charbon, un grand effort de traction, une adhérence suffisante sans accouplements compliqués, tout cela avec un appareil relativement aussi léger que possible et d'une suffisante flexibilité.

Ce problème, dont tous les éléments seraient séparément d'une solution facile, devient des plus ardus par la réaction que chacun d'eux vient exercer sur les autres. Il sera facile de juger, par l'exposé des solutions qu'il a reçues, des ménagements infinis qu'il exige. Mais nous pourrons, pour notre étude, éviter cette complication en examinant d'abord isolé-

ment les diverses parties de la locomotive, et les rapprochant ensuite pour juger de leur harmonie. La locomotive de fortes rampes est représentée sur la planche 33, et la planche 34 donne plusieurs vues de la machine à quatre cylindres.

CHAUDIÈRE.

Pour brûler de la houille menue, il faut une vaste grille : ce charbon ne doit pas être assez maigre pour tamiser trop facilement à travers les barreaux, de sorte qu'on le choisit assez gras pour coller un peu. On ne peut donc le charger qu'en couche très-mince pour que l'air puisse le traverser. Ainsi il faut une grande surface pour réunir une masse assez forte de combustible et assurer l'affluence d'air nécessaire à la combustion.

Grille. — Mais cette surface de grille ne peut s'obtenir par un allongement exagéré qui rendrait le service trop difficile; il faut donc une largeur de grille plus grande que dans les machines ordinaires. Or, le foyer est habituellement compris entre les roues, ce qui, pour la voie française, limite la largeur de la grille à 1 mètre et quelques centimètres. La seule machine qui fasse exception à cette règle est la locomotive Engerth (Pl. 35), dont le foyer est placé entre les boudins des roues du quatrième et du cinquième essieu, et a pu ainsi recevoir une grille de $1^{m},350$ de large. Dans les nouvelles machines du Nord, le foyer est placé au-dessus des roues et des longerons, la grille a $1^{m},775$ de largeur dans les machines à fortes rampes, et $1^{m},800$ dans les machines à quatre cylindres. La longueur de la grille est respectivement $1^{m},475$ et $1^{m},850$; ce qui donne des surfaces de $2^{mq},62$ et $3^{mq},33$; les machines Engerth n'ont que $1^{mq},94$. Avec une telle surface, on peut brûler par heure plus de 600^{k} de houille. La grille est d'ailleurs du système de M. Belpaire, ingénieur en chef des chemins de fer de l'État belge. Elle est légèrement inclinée de l'arrière vers l'avant et consiste en trois séries de barreaux dans le sens de la longueur. La partie antérieure est à barreaux transversaux et constitue un jette-feu. Les barreaux longitudinaux n'ont que $0^{m},50$ et $0^{m},55$ de longueur; ils peuvent ainsi être assez minces; leur écartement est faible.

Foyer. — Les parois latérales du foyer se rapprochent en s'élevant, et la largeur au ciel n'est plus que d'environ $1^{m},800$. Le ciel du foyer est à $1^{m},233$ et $1^{m},196$ de hauteur moyenne au-dessus de la grille, ce qui constitue, en définitive, une surface de chauffe directe de $9^{mq},66$ et de $10^{mq},90$.

Boîte à feu extérieure. — La boîte à feu extérieure enveloppe ce foyer. Au bas se trouve un cadre à la façon ordinaire, sur les parois des entretoises. La porte de charge est très-large pour permettre le service d'une aussi vaste grille, elle est rectangulaire de $0^{m},800$ de large sur $0^{m},450$ de haut; sa base est formée par le cadre même du bas du foyer, car sur ce

genre de grille et avec du menu combustible, on ne charge que sur quelques centimètres de hauteur. Mais l'une des innovations les plus intéressantes de la chaudière de ce système consiste dans la réduction considérable du réservoir de vapeur qui existe d'ordinaire au-dessus du ciel du foyer et des tubes. Ici le dessus de la boîte à feu est plat et horizontal; des entretoises en fer reliant le ciel à cette paroi qui n'en est éloignée que de $0^m,300$ remplacent les armatures de ciel, si compliquées et si difficiles à bien assujettir. Un double fer d'angle qui suit les deux parois latérales et la face arrière du dessus de la boîte extérieure achève la consolidation.

Le ciel du foyer est incliné de $\frac{1}{100}$ de l'avant vers l'arrière; c'est afin d'éviter qu'il ne puisse être découvert à l'arrière, lorsque la machine est sur une pente très-inclinée.

Tubes et corps cylindrique. — On comprend que la grande largeur du foyer et la presque suppression du réservoir ordinaire de vapeur permettent d'avoir un corps cylindrique très-large et d'y loger une grande quantité de tubes à air chaud. Le diamètre intérieur moyen du corps cylindrique est de $1^m,278$ et $1^m,450$, et il renferme 356 et 464 tubes de 40^{mm} de diamètre extérieur, et encore peut-on dire qu'on aurait pu aller au delà si on avait pensé que cela fût nécessaire. Ces tubes ont entre les deux plaques une longueur de $3^m,500$, ce qui donne une surface de chauffe de 144,76 et de 189 mètres superficiels.

Boîte à fumée. — La boîte à fumée est très-spacieuse, elle s'ouvre à l'avant à la façon ordinaire.

Réservoir de vapeur et sécheur. — Quant au réservoir de vapeur additionnel, il consiste en un tube cylindrique de $0^m,508$ de diamètre et de $3^m,414$ de longueur placé au-dessus du corps cylindrique à l'avant de la machine. Ce tube communique par une culotte avec le dessus du corps cylindrique. Le sécheur est fermé par deux plaques qui reçoivent 19 tubes en fer de 74^{mm} de diamètre extérieur. Les gaz chauds, au sortir de la boîte à fumée, circulent dans ces tubes et entourent aussi le sécheur en parcourant un grand carneau horizontal qui l'enveloppe de toutes parts et repose sur le corps cylindrique, de là ils se rendent dans une cheminée horizontale qui fait suite à ce carneau et débouche verticalement dans l'atmosphère. Cette cheminée a environ $2^m,50$ de long. Des portes convenablement placées permettent le nettoyage des tubes du sécheur et de la cheminée.

La surface de chauffe du sécheur est de 22 mètres carrés.

Question du séchage ou surchauffage de la vapeur. — On a quelquefois appelé cet appareil un surchauffeur; d'abord l'expression serait impropre puisque la vapeur est en contact avec l'eau qui l'a produite, puis il convient de remarquer qu'avec une surface aussi faible pour une si grande masse de vapeur, il ne peut se produire aucun chauffage sensible, d'autant plus que c'est de la vapeur qu'il s'agit de chauffer et non plus de

l'eau, et que les gaz de la combustion n'ont plus qu'un assez faible excès de température.

La section de passage de l'air à travers les tubes est de $0^{mq},50$ pour la machine à quatre cylindres; dans l'appareil réchauffeur, elle est un peu plus faible, plus faible encore dans la cheminée. On se rendrait compte aisément de la vitesse considérable que doit prendre dans ces diverses sections la masse énorme de gaz nécessaire pour brûler 500 à 600 kilogrammes de houille par heure.

Il ne paraît donc pas qu'il puisse y avoir surchauffage; mais si ces appareils ont donné sur les chemins de fer du Nord des avantages économiques très-nets, cela peut s'expliquer sans admettre qu'il y ait surchauffe de la vapeur.

La forme de ce réservoir de vapeur, dans lequel il ne peut y avoir beaucoup de projection d'eau, qui est à une grande hauteur au-dessus du niveau de l'eau, qui a un volume assez considérable, soit environ 900 litres dans la chaudière proprement dite, et 400 dans le réchauffeur, ensemble 1,300 litres, cette forme, disons-nous, semble éminemment propre à fournir une vapeur relativement sèche. Si à cela on ajoute les garanties contre la condensation, les chances de vaporisation de l'eau entraînée que paraissent donner les dispositions adoptées, on conçoit que cette chaudière ne doive donner avec la vapeur que peu d'eau à l'état globulaire.

La tension de la vapeur est de neuf atmosphères.

Surface de chauffe. — La surface de chauffe de la machine de fortes rampes et celle de la machine à quatre cylindres se trouvent, en résumé, composées comme suit :

Foyer.	$9^{mq},70$	$10^{mq},90$
Tubes	144 ,76	189
Sécheur	22	22
Ensemble. . . .	176 ,46	221 ,90

Possibilité de son augmentation. — Il est bon de remarquer que ces surfaces auraient pu être, grâce aux principes de la construction, plus considérables encore : le foyer, malgré ses dispositions spéciales, ne présente, en effet, pas plus de surface que celui de l'Engerth. Sa position au-dessus des longerons en a nécessairement réduit la hauteur. Les tubes sont très-nombreux, très-petits et très-rapprochés, ce qui, disons-le en passant, pourrait bien, malgré leur disposition en rangées verticales, n'être pas sans inconvénient au point de vue de la circulation de l'eau et de la vapeur engendrée, de la formation des incrustations et du nettoyage des tubes; et, malgré cela, ils n'offrent presque pas plus de surface de chauffe que les tubes moitié moins nombreux de la machine Engerth. Cela tient à la faible longueur des tubes de la nouvelle machine, et bien qu'on ait compté sur une plus facile transmission de la chaleur à cause de la faible

épaisseur (1mm,5) qu'a permise la petitesse du diamètre, on aurait, sans doute, pu aisément, si on l'avait trouvé nécessaire, gagner une trentaine de mètres carrés de surface de chauffe en allongeant un peu les tubes, ce qui n'aurait augmenté que de 1,200 kilogrammes environ le poids de la machine nouvelle.

Quant à la surface du sécheur qui constitue à peu près le seul excédant de surface de la nouvelle machine sur l'Engerth, nous ne savons pas jusqu'à quel point on doit l'ajouter sans un coefficient assez faible aux deux éléments ordinaires de la surface de chauffe.

Échappement. — L'échappement des quatre cylindres se rend en un seul tube à section constante à la naissance de la cheminée horizontale. Mentionnons en passant à ce sujet qu'on paraît renoncer dans les machines que l'on étudie actuellement à l'échappement variable à cause des embarras d'entretien qu'il entraîne, ou mieux à cause des mauvais résultats qu'il donne lorsqu'il n'est pas soigneusement entretenu en bon état. On imite en cela l'exemple des Anglais; il nous manque malheureusement d'avoir le bon combustible au même prix : ce n'est qu'alors, suivant nous, qu'on pourrait perdre le souci des petites économies. Or, la possibilité de varier la vitesse d'échappement de la vapeur doit être, avec des appareils en bon état, une source d'économie, surtout sur un chemin à fortes rampes, où les conditions du travail sont très-variables d'un point à l'autre du parcours.

Quant à la position horizontale de la cheminée et de l'échappement, il est très-probable qu'elle est sans influence... excepté sur l'aspect de la machine. La chaudière est enveloppée de toutes parts à la façon ordinaire.

Régulateur. — Les régulateurs sont placés à la partie supérieure du sécheur; ils sont commandés par deux tringles à renvoi de mouvement que le mécanicien manœuvre isolément à l'aide de deux leviers placés bien à sa main.

Les accessoires de la chaudière sont disposés comme à l'ordinaire. Il est seulement à remarquer qu'un niveau d'eau spécial a été placé à l'angle avant du foyer à peu près sur l'intersection des plans d'eau déterminés par les deux inclinaisons extrêmes de la machine.

Alimentation. — L'alimentation se fait à l'aide de deux injecteurs Giffard. Ces injecteurs de 10mm à l'ajutage divergent sont placés verticalement à droite et à gauche du foyer et injectent l'eau au-dessus de la boîte à feu.

Principaux éléments des nouvelles chaudières.— En résumé : grille large et longue placée au-dessus des longerons, foyer cubique sans dôme, tubes nombreux, courts, petits et minces, peu de vapeur dans le corps cylindrique, réservoir complémentaire dans un sécheur tubulaire, cheminée horizontale et échappement fixe, tels sont les principaux élémens

des chaudières des machines de fortes rampes et des machines à quatre cylindres.

Voici, d'ailleurs, pour permettre la comparaison avec les chaudières ordinaires, un tableau comparatif des conditions d'établissement des chaudières des divers types de machines à marchandises du chemin de fer du Nord :

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT.	PETITES Machines. — 3 essieux couplés.	MOYENNES Creuzot. — 3 essieux couplés.	GROSSES Engerth. — 4 essieux couplés.	FORTES Rampes. — 4 essieux couplés.	A QUATRE Cylindres. — 6 essieux couplés.
Numéros des fig. sur la pl. 36.	1	2	3	4	5
Grille. Longueur	0m.949	1m.400	1m.440	1m.475	1m.850
Grille. Largeur	0 .934	1 .020	1 .350	1 .775	1 .800
Grille. Surface	0mq.88	1mq 43	1mq.94	2mq.62	3mq.33
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille. à l'avant.	1m.277	1m.660	1m.655	1m.327	1m.320
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille. à l'arrière.	1 .130	1 .320	1 .300	1 .140	1 .072
Diamètre intérieur de la chaudière	0 .950	1 .500	1 .500	1 .278	1 .450
Tubes. Nombre	125	250	235	356	464
Tubes. Longueur	3m.800	3m.243	5m.045	3m.500	3m.500
Tubes. Diamètre extérieur	0 .050	0 .050	0 .055	0 .040	0 .040
Tubes. Épaisseur	0 .002	0 .002	0 .0022	0 .0015	0 .0015
Section de passage de la fumée dans les tubes	0mq.2076	0mq.4152	0mq.472	0mq.3827	0mq.4988
Surface de chauffe. Foyer	5 .50	9 .07	10 .75	9 .70	10 .90
Surface de chauffe. Tubes	68 .60	117 .53	186 .23	144 .76	189 .00
Surface de chauffe. Sécheur	»	»	»	22 .00	22 .00
Surface de chauffe. Totale	74 .10	126 .60	196 .98	176 .46	221 .90
Tension de la vapeur	7at	7at	8at	9at	9at

Bati, roues et mécanisme.

Nombre des roues. — La machine de fortes rampes est portée sur quatre paires de roues accouplées, et pèse au départ 45,000 kil., ce qui fait onze mille et quelques cents kil. sous chaque paire de roues; le dernier type de machines à marchandises adopté au chemin de fer du Nord est une machine à six essieux, et pèse au départ un peu moins de 60,000 kil., ce qui fait en moyenne 10,000 kil. par paire de roues.

Diamètre des roues. — La position du foyer au-dessus des longerons rendait nécessaires des roues d'un petit diamètre ; d'ailleurs, la faible vitesse de ces machines, la recherche de la légèreté et aussi le désir de diminuer l'empatement et d'améliorer le tirage par la fréquence des coups d'échappement devaient conduire au même résultat. Ce diamètre de roulement est, pour l'une et l'autre machine, de 1m,065.

Jeu latéral des essieux. — Dans la machine de fortes rampes, la distance d'axe en axe des essieux extrêmes est de 3m,800. Elle peut donc circuler sans difficulté dans les courbes de petit rayon. Mais il n'en serait pas de

même de la machine à 6 essieux qui a un empatement de 6 mètres, si l'on n'avait pas ménagé aux essieux extrêmes un jeu assez considérable dans leurs coussinets. Ce jeu est de 15 millim. de chaque côté, soit en tout 30 millim.; ainsi disposée, la locomotive n'a plus entre les axes de ses essieux fixes qu'un écartement de $3^m,720$, qui permet le passage dans les courbes de 200 mètres.

Remarquons que dans divers autres types de machines on a résolu cette question de jeu latéral d'une façon un peu différente en rendant la boîte à graisse mobile transversalement entre les glissières des plaques de garde. On applique alors des appareils spéciaux dits « appareils de translation, » qui par le jeu d'un ressort ou par l'action du poids de la machine s'opposent à une trop grande mobilité transversale, et tendent toujours à ramener l'essieu dans sa position moyenne, dès que disparaît la cause qui l'en a écarté. La machine qui nous occupe devant fonctionner à très-faible vitesse, ce qui rend moins intéressante la question de stabilité, on a pu sans inconvénients se passer de ces appareils.

Accouplement. — Pour obtenir un bon accouplement malgré le déplacement latéral des essieux extrêmes, les boutons d'accouplement ont des tourillons sphériques, et les bielles d'accouplement d'avant et d'arrière sont à double articulation rectangulaire sur les bielles d'accouplement du milieu. Ce moyen est le plus radical qui ait encore été employé pour résoudre cette difficulté de détail.

Longerons. — Les longerons de la machine à quatre cylindres sont intérieurs; ils ont $9^m,506$ de longueur, $0^m,860$ de hauteur et 24 millim. d'épaisseur; ils sont d'une seule pièce et évidés par découpage. Aux deux extrémités ils sont contre-coudés pour recevoir les cylindres. Cette disposition a pour but de rendre les pièces de la machine plus accessibles; elle diminue aussi la fatigue des attaches du cylindre sur le longeron, en diminuant la longueur de la patte des cylindres; mais peut-être n'est-elle pas sans inconvénient pour la solidité des longerons eux-mêmes.

Mécanisme. — Le mécanisme proprement dit de la machine de fortes rampes ne présente pas de particularités intéressantes. Celui de la machine à quatre cylindres est double. Comme les cylindres n'ont que $0^m,440$ de diamètre et $0^m,440$ de course, ces mécanismes sont légers. Ils sont entièrement extérieurs, et il paraît qu'il serait difficile de réaliser une semblable machine avec des cylindres intérieurs et des essieux coudés. La surveillance et le graissage de toutes ces pièces seraient presque impraticables.

Remarquons d'ailleurs que tandis qu'en Angleterre les cylindres intérieurs sont aujourd'hui en faveur au point que la machine Crampton elle-même a eu à souffrir de leur concurrence, on ne construit plus guère actuellement en France de locomotives à essieu coudé.

Piston. — Le piston est du système dit suédois, en fer embouti. Quel-

ques-uns ont été forgés d'une seule pièce avec la tige ; ils n'avaient en tout que 3 pièces; les anciens pistons à coins en avaient plus de 40. Ce mode de construction évite les difficultés de l'assemblage du piston et de sa tige, que les moyens en usage ne surmontent souvent qu'imparfaitement; mais il est possible que le forgeage d'une semblable pièce ne laisse pas au fer toute sa solidité et ne permette pas de donner à chacune des parties du piston le degré de dureté qui lui convient. Quoi qu'il en soit, cette tentative n'a pas réussi.

Tuyaux. — Les tuyaux d'arrivée de vapeur et d'échappement sont naturellement très-développés et circulent latéralement à la chaudière, et aussi sous la machine.

Distribution. — Le levier de changement de marche est unique et commande deux relevages qui se font équilibre. La distribution est extérieure : deux excentriques de petit diamètre sont calés sur un axe qui fait corps avec la manivelle sur laquelle s'articulent à la fois la bielle motrice et la bielle d'accouplement; ils reçoivent deux barres d'excentriques reliées à une coulisse mobile à courbure intérieure.

Fabrication des roues. — Les roues sont fabriquées d'après un procédé nouveau breveté par MM. E. Gouin et C^ie^. Un gâteau de fer forgé de 120 ou de 150 millim. d'épaisseur est tourné à la jante, alésé au moyeu et mortaisé pour former les rayons, les manivelles et les contre-poids. Des bandages en acier fondu Krupp sont embattus à la façon ordinaire sur ces centres. Les essieux ont 160 millim. de diamètre et leur calage n'a, par suite du mode spécial de fabrication des roues, que 140 et 148 millim. de longueur sur un diamètre de 190 et de 200 millim. Ces nouveaux centres de roues, d'une fabrication vraiment élégante, ne pèsent que 209 et 220 kil. pour les roues accouplées, et 412 kil. pour les roues motrices; leur prix est le même à peu près que celui des roues à coins soudés ou des roues Arbel; la qualité du fer a bien des chances d'être meilleure avec ce nouveau système qu'avec ceux que nous citons, car ces derniers exigent un forgeage des plus difficiles. Les contre-poids sont calculés d'après la méthode de M. Lechatelier, et équilibrent, en dehors des pièces à mouvement à rotation, le tiers du poids des pièces à mouvement alternatif.

Les roues sont placées aussi près l'une de l'autre qu'il a été possible de le faire ; la troisième et la quatrième sont seules séparées par l'espace nécessaire pour recevoir les sabots d'un frein extrêmement simple qui agit sur les deux groupes de roues. Ce frein ne cale jamais les roues.

Caisse à eau et soutes à charbon. — Les caisses à eau situées sous la chaudière et à l'arrière contiennent 8000 litres d'eau, et la soute à charbon peut contenir 2200 kil. de charbon. Dans la machine de fortes rampes, principalement destinée à des services d'embranchements, la contenance en approvisionnements est notablement moindre : 5,800 litres d'eau et 2,000 kil. de houille.

Répartition de la charge. — La répartition du poids sur les rails au départ, et la valeur totale de ce poids tant au départ qu'après épuisement du tender, sont données par le tableau ci-dessous pour les deux nouvelles machines, et comparativement pour les trois autres types à marchandises du chemin de fer du Nord. Dans la machine à 4 cylindres, des balanciers interposés entre les extrémités des ressorts de chaque groupe assurent dans une certaine mesure la constance de la répartition.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT.		PETITES Machines. — 3 essieux couplés.	MOYENNES Creuzot. — 3 essieux couplés.	GROSSES Engerth. — 4 essieux couplés.	FORTES Rampes. — 4 essieux couplés.	A QUATRE Cylindres. — 6 essieux couplés.
Contenance de la soute à eau.....		5.800k	7.000k	8.300k	5.800k	8.000k
Approvisionnement de combustible..		1.500	1.500	2.000	2.000	2.200
Poids	Machine pleine comme au départ.	22.900	32.800	62.800	45.000	59.700
	Tender plein id.....	16.100	17.800			
	Machine vide.....	20.900	28.800	45.770	33.500	44.500
	Tender vide.....	8.500	9.000			
Répartition du poids sur les rails avec approvisionnements complets.	1 essieu (avant).	8.600	12.600	10.100	11.000	9.200
	2 id.....	7.300	12.600	9.200	11.200	9.200
	3 id.....	7.000	7.600	9.900	11.200	9.200
	4 id.....	7.900	9.100	11.100	11.600	10.700
	5 id.....	8.200	8.700	10.900	»	10.700
	6 id.....	»	»	11.600	»	10.700
					45.000	59.700
Poids sous les roues motrices.....		22.900	33.900	40.300	41.100	54.600
					37.200	49.500

Il résulte de ce tableau que les nouvelles machines ne surchargent pas les rails; la machine à 4 cylindres est même, à ce point de vue, une machine légère, et si l'on veut bien considérer que cette répartition a bien moins de chances d'être modifiée par les inégalités de la voie que dans les machines où le foyer d'un côté et les cylindres de l'autre sont en porte-à-faux sur les essieux extrêmes, si l'on tient compte aussi que l'emploi de ces fortes machines diminue le nombre des trains, on reconnaîtra que les nouvelles machines sont destinées à ménager la voie. Ainsi tomberait l'une des plus sérieuses objections que l'on adresse quelquefois à ces puissants appareils.

En résumé, les mécanismes des deux types nouveaux de machines à marchandises sont étudiés de façon à rendre aussi facile que possible la surveillance de leurs nombreuses pièces; ils sont légers et solides. Les approvisionnements sont répartis sur ces machines de façon à égaliser autant que possible les charges sur les divers essieux. Les essieux ont le jeu latéral nécessaire pour le franchissement des courbes; leur charge individuelle est assez faible et assez constante pour ménager la voie.

EFFORT DE TRACTION.

Effort théorique. — A la pression effective de 8 atm., la pression par mètre carré de la vapeur est de :

$$8 \times 10{,}330 = 82{,}640 \text{ kil.}$$

L'effort théorique à la jante est donné, comme on sait, pour une paire de cylindres, par la formule :

$$\frac{P\, d^2\, l}{D},$$

dans laquelle P est la pression ci-dessus, d le diamètre du cylindre, l la course du piston, et D le diamètre de la roue motrice.

On a donc pour la machine de fortes rampes :

$$\frac{82{,}640 \times 0.480^2 \times 0.480}{1.065} = 8{,}589 \text{ kil.}$$

Pour la machine à quatre cylindres :

$$2.\ \frac{82{,}640 \times 0.440^2 \times 0.440}{1.065} = 13{,}220 \text{ kil.}$$

Effort à la jante. — Si maintenant nous admettons, d'après les expériences faites à ce sujet, le coefficient de 60 p. 100 pour tenir compte de la détente et des diverses causes de perte qui diminuent l'effort à la jante, nous aurons pour l'effort réel ou effort de traction :

$$0.60.\ 8580 = 5148 \text{ kil.}$$
$$\text{et } 0.60.\ 13.220 = 7932 \text{ —}$$

Adhérence. — Les poids adhérents variant de 45,000 à 36,200, et de 59,700 à 49,500, on voit que dans ces deux types de locomotives l'effort de traction maximum oscille entre 11,4 et 13,8 p. 100 et entre 13,3 et 16 p. 100 du poids adhérent. Il est égal moyennement au 1/7 ou 1/8 de ce poids, proportions qui sont considérées comme convenables dans des conditions climatériques ordinaires.

Charges remorquées. — Admettons, pour fixer les idées par un calcul simple et seulement approximatif, que le coefficient de traction de l'ensemble d'un train soit égal à 0,005, que la résistance due aux courbes soit égale à 0,003 du poids. Si nous désignons par n l'inclinaison d'une rampe, l'effort nécessaire pour y traîner une tonne sera en kilogr. $5 + 3 + n$ ou $8 + n$, et on aura pour chaque machine le poids brut en tonnes du train remorqué en divisant l'effort de traction par $8 + n$. On

trouve ainsi pour les deux machines les relations suivantes entre le poids du train remorqué et l'inclinaison :

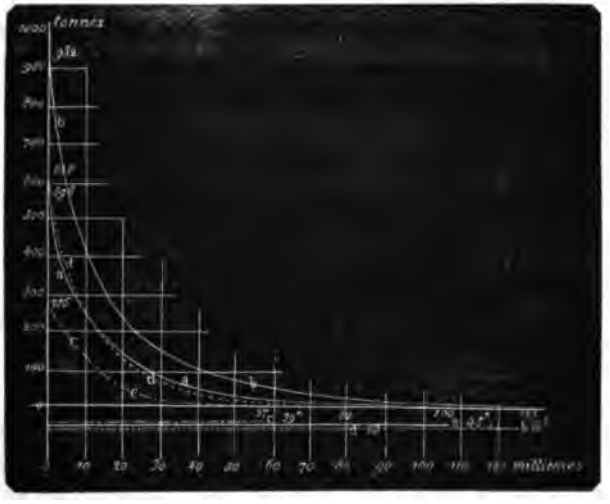
$$P = \frac{5,148}{8+n} - 45,$$

$$P = \frac{7,932}{8+n} - 59.7;$$

et remarquons que les valeurs de P seront minima, puisque nous avons pris le poids maximum des machines.

Fig. 1.

Échelle des abscisses.. $0^{mm},5$ par millième de pente.
Échelle des ordonnées. $0^{mm},05$ par tonne.



Si nous portons en abscisses les inclinaisons n à l'échelle de 1/2 millim. par millième, et en ordonnées les poids des trains à l'échelle de 1/2 millim. par tonne, nous aurons, pour la machine de fortes rampes, l'hyperbole *a* et, pour la machine à 4 cylindres, la seconde hyperbole *b*. L'horizontale inférieure représente le poids mort de la machine.

On voit que la machine à 4 cylindres remorquerait sur palier 932 tonnes, sur rampe de 5 : 550 tonnes, sur rampe de 20 : 223 tonnes, de 40 : 105 tonnes, etc.

La machine de fortes rampes traînerait 598 tonnes sur palier, 139 tonnes sur rampe de 20 et 62 tonnes, sur rampe de 40 millim.

Si l'on construit une courbe analogue pour une machine de 23 tonnes

à tender isolé pesant en service 16 tonnes, exerçant un effort de traction de 2,520 kil. — on a la formule :

$$P = \frac{2{,}520}{8+n} - 39,$$

qui fournit la courbe *c*.

On voit que sur rampe de 40 millim., cette machine est hors d'état de rendre aucun service sérieux puisqu'elle ne peut plus traîner que 14 tonnes.

Prenons encore la machine Engerth, qui pèse 62,800 kil., et dont l'effort de traction est 5,510 kil. Elle donne :

$$P = \frac{5{,}510}{8+n} - 62.8,$$

formule qui peut se traduire par l'hyperbole *d*.

Rampe limite. — Si nous faisons P = *o* dans ces quatre formules, c'est-à-dire si nous cherchons le point où la courbe coupe l'axe des abscisses, nous trouvons la valeur de la rampe sur laquelle chacune de ces locomotives ne pourrait plus traîner que son propre poids sans aucune charge utile, abstraction faite de la possibilité du glissement.

Or, on obtient ainsi :

Pour la machine de fortes rampes		96 millim.	par mètre.
—	à 4 cylindres	125	—
petite	à tender isolé	57	—
—	Engerth	80	—

Ces chiffres, sans intérêt pratique direct, pourraient cependant servir, jusqu'à un certain point, de coefficient de mesure au mérite proportionnel d'une machine à marchandises au point de vue de la plus ou moins parfaite utilisation du poids pour la production de l'effort de traction, et de la surface de chauffe convenable pour entretenir cet effort. On voit qu'à ce point de vue les nouvelles machines, et surtout la machine à 4 cylindres, représentent sur les anciennes locomotives un progrès remarquable.

Travail développé. — Si l'on multiplie l'effort de traction d'une locomotive par la vitesse à laquelle elle peut entretenir cet effort, on trouve le travail maximum qu'elle peut développer en une seconde. Divisant par 75 ce travail exprimé en kilogrammètres, on l'obtient en chevaux. Or, l'examen d'un grand nombre de types de machines à marchandises montre que la surface de chauffe nécessaire est moyennement d'environ 40 décimètres carrés par cheval.

Vitesse. — Si nous appliquons ce coefficient tout en reconnaissant qu'il dépend de la pression, de l'échappement, de la distribution de la surface

de chauffe et de diverses conditions d'établissement, nous trouvons que les deux types nouveaux dont les surfaces de chauffe, sans compter les sécheurs, sont respectivement . . . 155^{mq} et 199 mètres carrés,
peuvent développer un travail de 387,5 et 497,5 chevaux,
ou bien de . . . . . 29,062 et 37,312 kilogrammètres par seconde;
ce qui, à des efforts de traction de 5,148 et 7,932 kilogrammes,
ferait correspondre des vitesses de 5^{m},64 et 4^{m},74 par seconde,
ou bien environ . . . . . 20 et 17 kilomètres à l'heure.

Telles seraient donc à peu près les vitesses que les deux machines nouvelles, d'après leurs conditions d'établissement, pourraient entretenir en exerçant la totalité de leur effort de traction.

Nous pourrons vérifier, dans la seconde partie de ce travail, jusqu'à quel point tous ces résultats de calcul sont confirmés par les faits recueillis en service.

DEUXIÈME PARTIE.

MACHINES DE FORTES RAMPES.

Premier lot. — Les 15 premières machines de fortes rampes ont été mises en service sur les chemins de fer du Nord, vers la fin de 1859. Elles n'étaient pas construites tout à fait comme le type que nous avons décrit; elles n'avaient pas de sécheur et ne présentaient qu'une surface de chauffe de 123 m. q. Cela suffisait pour les services de gares ou d'embranchements auxquels elles étaient destinées, puisqu'il ne s'agit là que d'exercer un grand effort de traction, mais sans entretenir cet effort à une vitesse déterminée pendant un parcours prolongé. Le volume de la chaudière était aussi assez faible, de sorte que ces machines sur la grande ligne furent trouvées sensibles et difficiles à conduire. Aussi l'introduction des sécheurs fut-elle particulièrement heureuse sur ces locomotives. Les essais qu'on en fit décidèrent bientôt à commander 20 nouvelles machines de fortes rampes, avec quelques modifications sur le premier type, avec une plus grande surface de chauffe, une chaudière plus volumineuse, et un sécheur tubulaire. Ces machines ont été successivement mises en service en 1863.

Parcours effectués. — Les 15 premières machines ont déjà parcouru ensemble environ 1,200,000 kilom., soit moyennement 80,000 kilom. Elles auraient fourni plus de parcours sans les chômages dus aux réparations

et modifications successives qu'elles ont subies ; les 20 machines du second lot ont fait ensemble plus de 500,000 kilom., soit moyennement 2,500 kilomètres.

Nature du service. — Les machines de fortes rampes du premier lot font le service du chemin de fer de ceinture; elles font les manœuvres des grandes gares là où les machines de gare ordinaires ne suffisent plus; elles font aussi le service de l'embranchement de Chauny à St-Gobain. Les machines du second lot, utilisées sur la grande ligne où elles conduisent des trains de marchandises de 32 à 34 wagons à la vitesse réglementaire de 24 kilom. à l'heure.

Un pareil train pèse environ : les wagons, $33 \times 14 = 462$ tonnes, la machine, 45 tonnes, ensemble 507 tonnes. Pour remorquer ce poids sur les rampes de 5 millim. sans courbes prononcées, il faut un effort d'environ $507 \times 10 = 5070$ kil.

Consommation. — La consommation kilométrique moyenne des vingt machines de fortes rampes du dernier lot, relevée pour 350,000 kilom., est d'environ 11 k. 9 de tout-venant, à 13 fr. la tonne, soit 15 c. 47. Or, les mêmes trains de 30 à 35 wagons sont aussi conduits chaque jour sur la même ligne, à la même vitesse par les locomotives moyennes, type du Creusot, et ces machines ont brûlé, d'après les relevés faits sur 1 million 1/2 de kilomètres, 12 k. 5 de grosse houille à 20 fr. la tonne, soit 25 c.

Au point de vue du combustible, l'économie en argent des nouvelles machines sur les anciennes est donc d'environ 40 0/0.

Disons en passant que les nouvelles machines ont consommé environ 28 kilog. d'huile et de graisse par 1,000 kilom., tandis que les machines moyennes du Creusot n'en consomment que 18 kil. Bien que ce renseignement ne puisse conduire à une appréciation définitive, à cause de la mise en service encore récente des 20 machines de fortes rampes, il paraît cependant que ces machines consommeront un peu plus de graissage que les machines du Creusot.

MACHINES A QUATRE CYLINDRES.

Les 10 machines à quatre cylindres ont été mises en service il y a six ou sept mois; elles ont déjà un parcours total de 140,000 kil., soit moyennement de 14,000 kil. par machine.

Nature du service. — Ces locomotives font le même service que les machines Engerth; elles peuvent même traîner, sans être surchargées, quatre ou cinq wagons de plus. Leur train normal est de quarante-cinq wagons chargés de 10 tonnes; leur vitesse réglementaire, 24 kilom. Sur rampe de 5, l'effort nécessaire est pour $45 \times 14 + 60$ ou 690 tonnes, de 6,900 kil.

Consommation. — Elles ont brûlé jusqu'à présent 16 k. 3 de tout-venant à 13 fr. la tonne, soit 21 c. par kilom.; les machines Engerth brûlent

14 k. 3 de grosse houille à 20 fr., soit 28 c. 6, ce qui fait ressortir en faveur des nouvelles machines un avantage de 26,5 0/0. Ce chiffre ne pourra qu'augmenter, lorsque les machines auront fait un peu plus de parcours.

La dépense en graissage a été de 37 kil. au lieu de 21, pour 1,000 kilom.; mais ce chiffre s'abaissera certainement par la suite.

Tels sont les résultats déjà constatés dans le service courant des nouvelles machines du Nord.

AVANTAGES ÉCONOMIQUES.

Pour nous rendre compte de la somme d'avantages réalisée par l'introduction de ces puissantes machines au point de vue de la traction économique des marchandises sur la ligne du Nord, nous allons chercher à comparer les divers éléments des frais de traction d'une tonne de marchandises avec ces machines à quatre cylindres et avec les petites machines à marchandises à trois essieux couplés dont nous avons donné ci-dessus les principales conditions d'établissement, et qui étaient seules affectées au service des marchandises jusqu'en 1853. Nous ne nous dissimulons pas tout ce qu'a de délicat une semblable comparaison et combien il est difficile, même avec la comptabilité la plus intelligente, d'isoler les frais afférents dans un vaste service à tel ou tel système de machines. Nous désirons cependant donner une idée approximative des diminutions obtenues sur les divers chefs de dépense; les renseignements suivants sont extraits des documents de la compagnie du Nord.

Nous diviserons les dépenses de traction en frais d'administration, de conduite, de consommation et d'entretien. Nous ajouterons l'intérêt du capital engagé, parce que c'est un des éléments qui sont le plus avantageusement modifiés par l'emploi des machines puissantes. Pour les frais d'administration, la dépense par kilomètre de train est comptée pour les petites machines à. 0f,014

pour les machines à quatre cylindres par assimilation aux machines Engerth, à 0f,017

Cet élément est celui dont la fixation est la plus incertaine; elle résulte en effet de certains coefficients de pure appréciation, appliqués aux divers types de machines employées et qui n'ont que ce seul mérite, que, chacun d'eux étant multiplié par le nombre de kilomètres parcouru par les machines de la série, la somme des produits représente bien le total des dépenses d'administration du service de la traction. Mais il n'y a pas lieu d'insister, à cause de la faible importance de l'un et de l'autre des deux chiffres posés ci-dessus, relativement au total auquel nous parviendrons.

Les frais de conduite (appointements et primes des . . . . . .

mécaniciens et chauffeurs) sont par kilomètre, pour les petites machines, de. 0,162
et pour les grosses machines, par assimilation aux machines Engerth, de. 0f,190

On conçoit que la conduite des grosses machines coûte un peu plus cher, parce que les mécaniciens et chauffeurs gagnent plus que ceux des petites machines.

La dépense de combustible est celle sur laquelle les éléments d'appréciation donnent le plus de certitude. Nous compterons, d'après les relevés faits sur des parcours considérables, 9 kil. 4 de grosse houille à 20 fr. pour les petites machines, soit.. . . . . 0f,188
et 16 kil. 3 de tout-venant à 13 fr. pour les nouvelles machines, soit. 0,212

Le graissage peut être fixé aussi avec assez de certitude. Les petites machines, par kilomètre.. 0,061

Les grosses machines, $\frac{37}{21}$ des machines Engerth, proportion qui résulte de la consommation des six premiers mois de service des dix machines nouvelles, $\frac{37}{21}$ 0,096... 0,169

Ces chiffres comprennent en dehors du graissage les menues fournitures telles que les chiffons, l'essence, etc.; ils comprennent aussi les frais de l'alimentation d'eau.

Les petites machines coûtent moyennement pour l'entretien (tous frais de dépôt et d'atelier, petites et grosses réparations), par kilomètre.. 0,209

Quant aux grosses machines, nous admettrons le chiffre des machines Engerth. 0,288

Reste enfin l'intérêt du capital engagé. Nous calculerons cet intérêt à 6 0/0 du prix d'achat, et nous supposerons un parcours moyen annuel de 20,000 kil. La machine à 3 essieux pèse avec son tender 29,400 kil., qui, estimés à 1 fr. 90, font 55,860 fr., dont l'intérêt annuel est de 3354f,60, soit par kilomètre. 0,193

La machine à 6 essieux pèse 44,500 kil., ce qui fait à 1 fr. 90, 84,550 fr., dont l'intérêt est de 5075 fr., soit, pour un kilomètre. 0,254

Si nous ajoutons maintenant ces divers éléments, nous avons pour un kilomètre de la petite machine. 0,827
de la nouvelle machine.. . . . 1,130

Or, la charge normale des petites machines est de 20 wagons, chargés à 10 tonnes, celle des fortes machines est de 45. Supposons, pour tenir

compte de la charge incomplète des trains et des retours à vide, et ceci est une appréciation légitimée par les statistiques et affectant d'ailleurs également les deux résultats, que l'une et l'autre ne traînent effectivement en moyenne que la moitié de ces charges. Nous aurons 10 fois 10 tonnes ou 100 tonnes de poids utile pour la machine à 3 essieux, et 22,5 fois 10 tonnes ou 225 tonnes pour la machine à 4 cylindres. Divisant enfin respectivement nos deux dépenses kilométriques par ces deux nombres, nous arriverons au prix de revient de la traction d'une tonne de marchandises à 1 kilomètre pour les deux machines :

Pour la machine ordinaire : $\frac{0^f,827}{100} = 0^c,827$

Pour la machine puissante : $\frac{1^f,130}{225} = 0^c,494$

soit en résumé un avantage de 40 0/0.

Nous croyons devoir répéter que tous ces nombres n'ont rien d'absolu, et ne doivent être considérés que comme des approximations où l'appréciation a une part assez large. L'intérêt que présentent ces sortes de comparaisons, auxquelles il faut toujours bien arriver pour estimer l'avantage réalisé, nous a seul engagé à les présenter. La netteté des écarts que présentent les deux machines sur presque tous les chapitres de dépense, écarts dont la plupart pouvaient même être prévus *à priori*, ne laissera, nous l'espérons, aucun doute sur le progrès réalisé dans ces dix dernières années par la substitution aux machines légères des moteurs puissants que nous venons de décrire. Ce progrès paraît se résumer en une économie d'environ 40 0/0 sur les frais de traction d'une tonne de marchandises transportée à 1 kilomètre. Mais l'emploi de ces machines procure de plus d'autres économies qui, pour être étrangères au service de la traction, n'en dégrèvent pas moins d'autant les frais des transports. La plus importante est celle que donne la diminution du personnel des trains de marchandises. On conçoit, en effet, qu'il ne faut pas deux fois plus d'agents sur un train deux fois plus lourd, et que le service des stations, des aiguilles, des barrières, des alimentations, des signaux sera d'autant moins chargé que le nombre de trains sera moindre.

Nature du trafic auquel ces machines sont naturellement propres. — Mais tous ces avantages s'évanouiraient bien vite, si les ressources du trafic ne permettaient pas d'utiliser ces puissantes machines assez près du maximum de leur puissance. Il est clair que si on ne pouvait composer qu'une fois sur dix des trains suffisamment lourds, on aurait tout avantage à conserver les machines ordinaires, quitte à dédoubler les trains exceptionnels ou à employer la double traction. Ces machines puissantes ne sont donc convenables sur les lignes à profil ordinaire, que lorsqu'elles sont appelées à desservir un trafic important et régulier. Or, c'est justement le cas pour le transport des houilles sur le chemin de fer du Nord.

On transporte par an de Belgique en France plus de 1 million de tonnes, soit par jour 2,740 tonnes. Comme c'est surtout pendant l'hiver que ces transports sont le plus actifs, on peut bien estimer le transport journalier pendant cette saison à plus de 4,000 tonnes. Il y a donc de quoi composer une dizaine de trains de 400 tonnes, ayant à parcourir à peu près la distance entière, sans autres arrêts que ceux que nécessite le service de la machine ou le mouvement des autres trains sur la ligne. C'est dans ces conditions que les fortes machines réalisent de grands avantages.

C'est dans ces conditions aussi que la compagnie du Nord a pu abaisser ses tarifs spéciaux de transport de houille à près de 3 centimes la tonne kilométrique.

Ce qu'il ne faut pas demander à ces machines.—Il n'y aurait que des inconvénients au contraire à employer un pareil type pour conduire des trains de marchandises omnibus prenant quelques wagons ou quelques ballots de marchandises dans chaque station, en laissant dans chaque station, n'ayant jamais leur plein nombre de wagons et n'ayant que des wagons à demi chargés, faisant dans chaque gare des manœuvres prolongées.

Exploitation des chemins accidentés. — Nous n'avons parlé encore que des résultats fournis par les nouveaux types de machines sur les chemins de fer à profils ordinaires, mais ces machines ont été de plus soumises à des épreuves qui permettent d'étudier la façon dont elles se comportent sur les chemins de fer à tracé accidenté.

Description du chemin de fer de Saint-Gobain. — Le chemin de fer de

Fig. 2.

Chauny à Saint-Gobain, dont la figure 2 représente le profil, a une longueur de 14,500 mètres; il a d'abord des pentes et rampes ne dépassant

pas 13mm avec courbes de 275m de rayon au minimum. Il se termine vers Saint-Gobain par une rampe de 3,810m de longueur, se composant ainsi :

Rampe de	0,018	sur 2,140m	3,810m
—	0,113	300	
—	0,018	1,370	

Trois courbes de 275m de rayon sur un développement total de. 1,050

1	300	220
2	350	730
3	400	510
9 lignes droites		1,305
	Total égal.	3,810m

La gare de Saint-Gobain est formée d'une courbe et d'une contre-courbe de 125m de rayon sur un développement de 200m. La voie se prolonge dans la manufacture, où elle décrit un demi-cercle complet dont le rayon est de 80m avec rampe de 25mm.

Service courant sur ces rampes. — Les machines de fortes rampes du premier lot sont depuis cinq ans en service sur ce chemin de fer. Elles remorquent couramment dix wagons chargés à dix tonnes, soit 2,35 fois leur propre poids, et montent la rampe sans difficulté à une vitesse de 20 kilomètres à l'heure. Ce service suppose le développement d'un effet de traction égal environ à :

$$(10 \times 14 + 40)\,(8 + 18) = 4,680^{k}.$$

Quant aux machines à quatre cylindres, elles n'ont voyagé sur ce chemin qu'à titre d'essai, car le trafic n'exige nullement l'emploi de locomotives aussi puissantes.

Premier train d'expérience. — Une première expérience a été faite sur ce chemin, le 2 octobre dernier, en présence d'une commission d'ingénieurs des ponts et chaussées.

Le train d'essai était composé de 18 wagons pesant ensemble 250,200 kil.

La locomotive, avec ses approvisionnements au complet, a démarré facilement et a parcouru les onze premiers kilomètres à une vitesse variant de 21 à 27 k. à l'heure.

Du poteau kilométrique n° 11 au n° 14,3, l'heure de passage à chaque hectomètre a été constatée, afin d'apprécier la vitesse sur cette portion du chemin qui est sur presque tout le parcours en rampe de 18mm. La vitesse a varié de 14 à 20k à l'heure; la vitesse moyenne sur les 3,400m a été de 17k,3 à l'heure. Elle allait en s'accélérant à mesure qu'on approchait du sommet de la rampe, ce qui prouve que la locomotive remorquait aisément la charge de 250 tonnes. Elle circulait avec facilité dans les courbes et elle a passé sans embarras dans les courbes de 125 mètres de la gare de Saint-Gobain.

La machine, après avoir été aiguillée, s'est mise en queue du train de 18 wagons qu'elle a démarré et descendu de quelques centaines de mètres sur la rampe de 18^{mm} par mètre; elle a refoulé ensuite son train en le poussant sur la rampe, machine en queue, et l'a ramené en gare de Saint-Gobain sans difficulté. Cette seconde expérience a montré qu'elle était en état de manœuvrer sur rampe de 18^{mm} un train pesant brut 250 tonnes, aussi bien en le poussant qu'en le tirant.

Dans cette expérience, l'effort de traction en rampe de 18 et en courbe était d'environ :

$$(250 + 60)\,(8 + 18) = 8060^{k}.$$

Question du franchissement des courbes. — Mais le complet succès de ce premier essai avait fait naître le désir de voir cette même locomotive si puissante et déjà assez flexible pour parcourir des courbes de 125 mètres de rayon, circuler dans la courbe de 80^{m} de l'usine de Saint-Gobain où les machines de fortes rampes faisaient couramment le service. Rappelons-nous que l'empatement de la machine est de 6 mètres, et nous aurons une idée de la difficulté du problème à résoudre.

Il s'agissait, bien entendu, d'obtenir le résultat sans donner aux essieux aucun mouvement angulaire l'un par rapport à l'autre. L'angle de deux rayons, comprenant entre eux une corde de 6 mètres, est d'environ 4°18', et il faudrait à chacune des roues extérieures une mobilité longitudinale d'à peu près 28^{mm} pour que les essieux extrêmes pussent rester dirigés suivant des rayons.

C'est à l'aide de la mobilité transversale seule qu'on a résolu la question. Or, la corde d'une courbe de 80 mètres de rayon sur 6 mètres de long est d'environ 56^{mm}. La courbe de l'usine de Saint-Gobain a été posée sans aucun excès de largeur par rapport aux alignements de même que sans aucun surhaussement du rail extérieur. Il fallait donc donner aux essieux un jeu transversal plus considérable que celui de 30^{mm} qui existait sur les dix machines.

On a craint qu'une aussi grande mobilité des essieux ne donnât à la machine dans les alignements et sur les déclivités où la marche s'accélère un peu une instabilité fâcheuse, et on a pourvu la machine d'une disposition spéciale inventée par notre collègue, M. Beugniot.

Appareils de translation. — Disons d'abord qu'il existe plusieurs dispositions appliquées sur divers chemins de fer, et tendant de même à atténuer l'instabilité que peut amener le jeu latéral. Nous en avons déjà dit un mot dans la première partie de ce travail. L'appareil de translation de M. Caillet consiste essentiellement en un couple de petits ressorts horizontaux, disposés de façon à résister par leur bande au déplacement transversal de l'essieu. Ces ressorts sont tendus à l'avance, de sorte qu'aucun déplacement ne peut avoir lieu sans une action supérieure en

intensité à cette bande initiale. Ils sont comprimés de plus en plus à mesure que le jeu transversal augmente.

M. Polonceau avait aussi résolu la même question à l'aide d'un organe mécanique très-simple qu'il a appelé un osselet. C'est une sorte de triangle isocèle aux angles arrondis que l'on interpose entre la boîte à graisse mobile dans ses plaques de garde et la tige de pression du ressort de suspension. Dès que l'essieu se déplace transversalement entraînant sa boîte, l'osselet porte sur un de ses angles, et, le côté correspondant du triangle se redressant, se rapprochant de la verticale, le sommet s'élève et la charge transmise par le ressort est soulevée d'autant. C'est donc le poids de la machine qui intervient ici pour s'opposer au déplacement de l'essieu, et ramener celui-ci dans sa position moyenne, dès que les causes qui l'en ont écarté ont cessé d'agir.

Mais tandis que le ressort de M. Caillet réagit d'autant plus énergiquement que le déplacement est plus fort, il est aisé de voir par un tracé que l'osselet Polonceau oppose de moins en moins de résistance au mouvement à mesure que l'amplitude en augmente. On emploie aussi sur le chemin d'Orléans une disposition dans laquelle l'effort est constant dans toutes les positions. Elle consiste en un prisme dont la base porte la tige de pression du ressort pendant que les côtés obliques reposent sur des plans inclinés que présente le dessus de la boîte à graisse. Dès que le déplacement transversal commence dans l'un ou l'autre sens, la charge transmise par la tige de pression est soulevée et agit par une composante horizontale constante qui ne dépend que de l'angle des plans inclinés.

Tels sont les moyens simples employés sur bon nombre de machines disposées en vue de circuler dans des courbes de faible rayon, et dont les essieux extrêmes ont un jeu transversal assez considérable.

Système de M. Beugniot.— D'autre part, M. Beugniot s'occupe depuis quelques années de construire un type de machine propre aux chemins accidentés. La machine « la Courbe » qu'il a étudiée et construite dans les ateliers de MM. A. Kœchlin et C^ie^, en 1860, fut la première expression de l'ordre d'idées dans lequel il entrait. Depuis cette époque, il appliqua ces idées à bon nombre de machines fonctionnant sur des courbes prononcées et, en particulier, sur les lignes du Lombard-Vénitien, du Central-Suisse, des Giovi et des Appennins. Le problème, posé à l'occasion de la machine à quatre cylindres, vint fournir l'occasion d'une nouvelle étude.

La machine n° 605 fut envoyée, après l'essai du 2 octobre, dans les ateliers de MM. A. Kœchlin et C^e^, et y reçut les modifications suivantes. Voir (Pl. 34).

Les boudins des bandages des deux essieux moteurs fixes (le 2^me^ et le 5^me^) ont été réduits d'épaisseur, de façon à avoir sur la voie courante en alignement un jeu de 23^mm^.

Les joues intérieures des fusées des essieux, qui limitaient à 30mm le jeu transversal, ont été enlevées et les glissières des boîtes à graisse ont été disposées en vue d'un jeu de 43mm.

Les deux essieux extrêmes de chaque groupe ont été réunis par un balancier horizontal pivotant par une articulation sphérique sur un point fixe placé au-dessous de l'essieu du milieu, et dont les extrémités embrassent, par des sortes de fourches, des tourillons pratiqués sur les essieux et terminés par des collets rapportés.

Mode d'action de l'appareil. — On conçoit que ce balancier rend solidaires les deux essieux extrêmes de chaque groupe dans leur jeu transversal, de sorte que l'un d'eux ne peut se mouvoir vers l'extérieur de la courbe sans que son conjugué ne se déplace vers l'intérieur de la même quantité. Dans une courbe, l'action du rail sur le boudin de la roue extérieure de l'essieu d'avant de chaque groupe fait jouer le système des deux essieux, et fait rentrer l'essieu d'arrière vers l'intérieur de la courbe. Dans un alignement, on espère que les causes accidentelles, qui tendent à faire jouer dans un sens ou dans l'autre l'un et l'autre essieu, auront quelque chance de se combattre et de se détruire réciproquement d'une façon plus ou moins complète.

Expérimentation de la machine 605.—La machine 605, ainsi appropriée, fut mise en service sur la ligne de Saint-Gobain. Après huit jours de service régulier, pendant lesquels elle a circulé dans la courbe de 80 mètres sans plus de difficulté que les locomotives de fortes rampes, M. Petiet organisa un nouveau train d'expérience et invita bon nombre d'ingénieurs et de savants à venir constater par voie d'essai direct les résultats obtenus.

Second train d'expérience. — Le 21 janvier dernier, la machine remorqua de Chauny à Saint-Gobain un train composé de 21 véhicules pesant ensemble 267,000k, soit 17 tonnes de plus que le train du 2 octobre. Les vitesses sur la rampe de 18mm furent soigneusement constatées. Les douze premiers hectomètres furent parcourus à la vitesse moyenne de 20k à l'heure, la pression se maintenait au maximum, mais la machine commença à patiner sur le rail un peu humide et les 8 hectomètres suivants ne furent franchis que péniblement et à raison de 8k à l'heure. Il fallut jeter du sable sous les roues. La vitesse remonta alors à 20k pendant 500m de parcours, et les 1,100 derniers furent parcourus à la vitesse de 17k à l'heure.

Cela fait en moyenne pour les 3k,6 une vitesse d'environ 15k.

L'effort de traction correspondant peut être estimé d'après les mêmes hypothèses que ci-dessus, à :

$$(267+60)\,(8+18) \text{ soit } 8{,}502^{k}.$$

Le travail moyen, développé par seconde, serait ainsi :

$$\text{de } \frac{15000}{3600} \times 8502, \text{ soit } 35425 \text{ kilogrammètres,}$$

ou 472 chevaux. Il était à certains instants plus fort d'un tiers que cette valeur moyenne (629 chevaux).

La locomotive, après avoir amené son train dans la gare de Saint-Gobain, a été se placer en queue d'un petit train de wagons de marchandises qu'elle a poussé dans l'usine, en parcourant dans toute son étendue la courbe de 80^{m} en rampe de 25^{mm}. Arrivée à l'extrémité supérieure, on a serré les freins des wagons et on a fait patiner sur place les six essieux de la locomotive. Elle a fait plusieurs manœuvres en avant et en arrière sans qu'il en résulte aucun indice de fatigue exagérée.

La descente de Saint-Gobain à Chauny s'est opérée à la vitesse d'environ 25^{k} sans qu'on ait remarqué une instabilité gênante, même dans les alignements.

Appréciation de l'appareil de M. Beugniot.— Nous avons entendu le jour de l'expérience quelques ingénieurs attribuer à l'application de l'ingénieux appareil de M. Beugniot la facilité relative avec laquelle la machine franchissait la courbe de 80^{m}. Nous ne pensons pas que M. Beugniot lui-même prête au système qu'il a inventé aucune propriété de ce genre, et nous croyons que c'est le jeu latéral seul qui permet le passage. Dès le moment que l'amincissement des boudins des bandages et le jeu transversal des essieux dans leurs coussinets sont suffisants pour que l'inscription entre les rails des 12 boudins des bandages puisse se faire, l'action des rails sur les boudins ou sur les cônes des bandages suffira toujours sans l'interposition d'aucun appareil pour mettre chaque essieu à la place convenable et assurer l'inscription. De plus, aucun appareil, quelle qu'en soit la disposition, n'empêchera cette action du rail de se produire, c'est elle seule qui peut provoquer le mouvement transversal, et il faut de toute nécessité qu'elle ait lieu et avec toute son intensité. En vain la transportera-t-on, par un habile artifice, d'un essieu sur l'autre; la somme de ces actions restera toujours la même. On n'aura réussi qu'à augmenter l'une d'elles en diminuant l'autre, ce qui n'est peut-être pas un avantage.

L'appareil de M. Beugniot ou bien l'un des appareils de translation que nous avons indiqués plus haut, amènera-t-il une diminution dans l'usure des bandages et une atténuation de la résistance de traction due aux courbes? c'est ce que nous n'oserions espérer, justement parce que la présence de ces appareils ne nous paraît pas modifier, du moins dans la somme de leurs intensités, les actions des rails contre les boudins. Ajoutons d'ailleurs que, bien que l'application des appareils de translation soit déjà ancienne et assez étendue, aucune constatation bien nette et bien définitive n'est venue prouver, du moins à notre connaissance, qu'on ait réalisé des avantages de ce genre.

Mais ces appareils, et en particulier l'appareil de M. Beugniot dont il s'agit ici, ont surtout en vue d'éviter ou au moins d'atténuer l'instabilité que produirait le jeu latéral. Or, la machine à quatre cylindres, dont les roues n'ont que 1^{m},065 de diamètre, qui ne marche jamais qu'à petite vi-

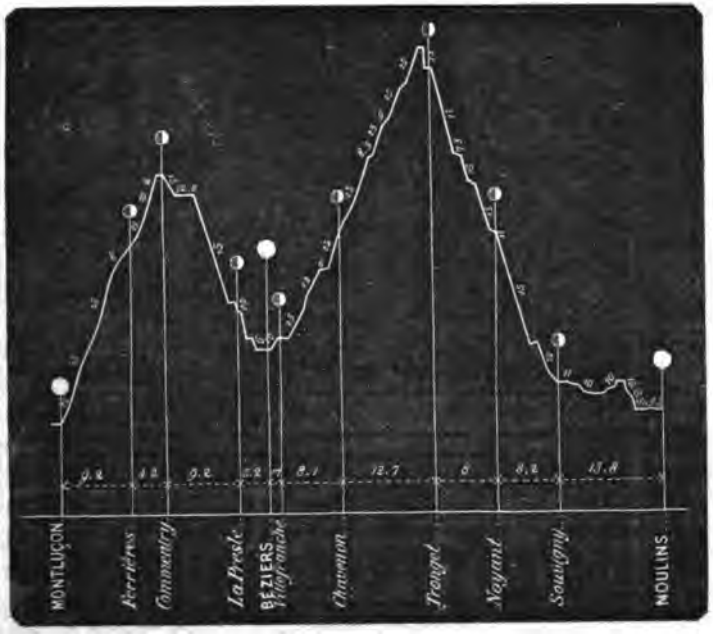
qu'une faible fraction de leur charge. Une machine de renfort sera la plus simple des solutions.

Telle autre ligne a un trafic souvent faible, mais susceptible de grandes oscillations. On ne peut réduire outre mesure le nombre des trains. On n'aurait pas d'avantage à employer de fortes machines, il vaut mieux multiplier les trains et employer pour la charge des trains et la puissance des machines une unité plus faible.

On conçoit donc qu'il ne serait pas possible de comparer entre eux les résultats de service réalisés sur des chemins différents; nous nous contenterons de citer les faits; ce seront des rapprochements et non pas des comparaisons.

Chemin de fer d'Orléans. — Le chemin de fer d'Orléans renferme une section à profil accidenté : c'est celle de Montluçon à Moulins, représentée par le profil ci-contre. De Montluçon à Commentry, 13^{k},4, rampe variant

Fig. 3.



de 10 à 15^{mm}; de Commentry à Bezenet, 14^{k},4, pente de 10 à 15^{mm}; de Bezenet à Tronget, 22^{k},5, rampe de 15^{mm} presque constante; pente rapide de Tronget à Moulins sur 30 kilom.

Tout ce tracé présente un grand nombre de courbes dont le rayon minimum est de 300 mètres.

La vitesse normale des trains, de Montluçon à Moulins, est de 20 kilom.

à l'heure; mais elle s'abaisse, d'après l'itinéraire, à 15 kilom. pour l'ascension des rampes.

Deux types de machines font le service de cette section; l'une est une locomotive à trois essieux accouplés à tender isolé, dont voici les principales conditions d'établissement : Voir (Pl. 36, fig. 6).

Diamètre des cylindres.		0m,450
Course des pistons.		0 ,650
Diamètre des roues.		1 ,160
Surface de chauffe.	Foyer	7mq,0581
	197 tubes de 4m,293 .	133 ,4281
	Ensemble	140mq,4862
Poids total de la machine en service. . .		36t,3
— du tender chargé.		18

L'autre machine, d'un type nouveau, et qui n'est encore en service que depuis quelques mois, est une machine à huit roues couplées à tender isolé; en voici la désignation sommaire : Voir (Pl. 36, fig. 7).

Cylindres.	diamètre.	0m,500
	course	0m,650
Roues, diamètre		1 ,160
Surface de chauffe.	Foyer	10mq,6375
	251 tubes de 5m,160 .	196 ,2000
	Total	206mq,8375
Poids de la machine en service.		44t,2
— du tender plein.		18

Les règles suivies au chemin d'Orléans pour fixer la charge normale des trains de marchandises sont déduites des résultats de nombreuses séries d'expériences dynamométriques de traction. Ces expériences ont conduit à des formules qui permettent de déterminer, pour chaque type de machine, la charge à remorquer, en fonction de l'inclinaison de la rampe, du rayon des courbes, de la vitesse qu'on veut entretenir. Des courbes tracées pour chaque type de machine et pour diverses vitesses entre 15 et 30 kilomètres, donnent la charge qui, d'après ces formules, correspondrait à chaque rampe. Enfin, d'autres courbes, tracées pour chaque type en regard de celles-ci, donnent une autre valeur de la charge que peut remorquer la machine sur diverses rampes, en raison de son adhérence, en admettant que l'effort de traction sur la barre d'attelage puisse atteindre par beau temps les 0,10 du poids adhérent.

On obtient ainsi, pour chaque inclinaison de rampes, deux ordonnées représentant chacune une valeur de la charge à remorquer; on choisit en chaque occasion la plus faible; c'est cette charge qui est portée dans les ordres de service qui réglementent la charge des trains sur les diverses

sections ; ou du moins l'accord entre le service effectif et les calculs est aussi parfait que la pratique le comporte.

Or, les courbes tracées pour les deux types de machines que nous venons d'indiquer présentent, pour une rampe de 15mm et pour une vitesse de 15 kilom. à l'heure, les ordonnées suivantes :

Machines à 3 essieux	d'après la production de vapeur.	285 tonnes.
	d'après l'adhérence.	216 —
Machines à 4 essieux	d'après la production de vapeur.	365 tonnes.
	d'après l'adhérence.	254 —

Ainsi ces locomotives remorquent sur la ligne de Montluçon à Commentry, par beau temps : la première, 216 tonnes; la seconde, 254 tonnes.

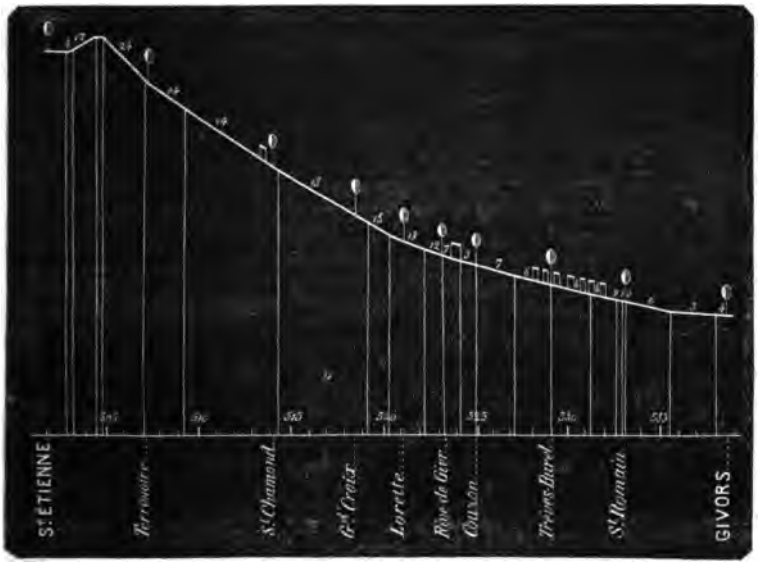
Ces charges sont comptées en comptant un wagon vide pour une unité ou 5 tonnes; un wagon chargé à 5 tonnes pour deux unités ou 10 tonnes; un wagon chargé à 10 tonnes pour trois unités ou 15 tonnes.

Les charges indiquées ci-dessus sont les charges d'été; elles sont un peu réduites pendant la mauvaise saison.

On voit qu'en résumé ces deux types de machines remorquent 216t pour 54t de moteur, et 254t pour 62t, soit 4 fois leurs poids.

Chemin de fer de Lyon. — Sur les lignes de la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée, la partie la plus intéressante au point de vue

Fig. 4.



qui nous occupe est la voie qui a été construite il y a trois ans pour remplacer provisoirement le tunnel éboulé de Terrenoire. De Givors au point

culminant de la voie, soit sur 34 kilomètres, la ligne monte constamment, d'abord en rampe de 3, 5, 10 millim. jusqu'à Rive-de-Gier; puis, à partir de Rive-de-Gier, pendant 13 kilom., en rampe de 12, 13, 14, 15, et enfin en rampe de 24 millim. sur les 2,500 derniers mètres.

La vitesse des trains de marchandises entre Rive-de-Gier et le point culminant près de Terrenoire est normalement d'environ 15 kilomètres par heure; d'ailleurs, voici en peu de mots les idées suivies au chemin de Lyon, pour régler dans chaque section les vitesses et les charges.

La rampe étant variable dans une même section de traction, pour conserver à peu près aux machines un travail constant, on admet que la vitesse doit varier en sens inverse de l'inclinaison de la rampe. On peut encore augmenter la vitesse du train avant d'attaquer la rampe forte, et la diminuer graduellement sur la rampe de manière à profiter de l'inertie pour aider à la remonte. On a pu, en supposant l'emploi assez large de ces deux moyens, diminuer sensiblement l'influence des rampes fortes sur les limites de charges. Tenant compte d'autre part des courbes ou des difficultés diverses de la voie, on a assimilé chaque section à une section fictive de rampe uniforme.

Mais quand la section comprend, comme dans l'exemple qui nous occupe, des parties de rampes très-différentes, on la partage en plusieurs, soit que l'on modifie la composition du train en passant de l'une à l'autre, soit que l'on compose un train à tonnage constant égal au plus faible des tonnages correspondants aux diverses rampes fictives.

C'est ainsi que la partie entre Rive-de-Gier et Terrenoire est considérée pour les trains de marchandises comme une partie à rampe constante de 12^{mm}5, et que la petite partie de Terrenoire au point culminant est à rampe fictive de 22 millim.

Les machines employées sur cette section sont du type grand-central à trois essieux accouplés et à tender isolé (Pl. 36, fig. 8).

En voici le programme :

Cylindres	diamètre.	0^{m},440 et 0^{m},450
	course.	0 ,650
Roues, diamètre.		1 ,300
Pression.		8^{at}
Surface de chauffe, foyer		8^{mq},300
— tubes..		115 ,680
Ensemble environ.		124
Poids en service, machine		37^{t}
— tender plein . . .		20

On emploie aussi sur ces rampes des machines ressemblant beaucoup à celles-là, mais qui, d'après des études récentes, ont été un peu allégies. Elles ne pèsent que 33 tonnes pour la même surface de chauffe, mêmes cylindres, roues de même diamètre.

Les premières machines remorquent d'après les ordres de service, pendant l'été, à la vitesse de 15 kil. à l'heure :

Sur la section à rampe fictive de 12,5 : 220 tonnes.
Sur la section à rampe fictive de 22 : 122 —

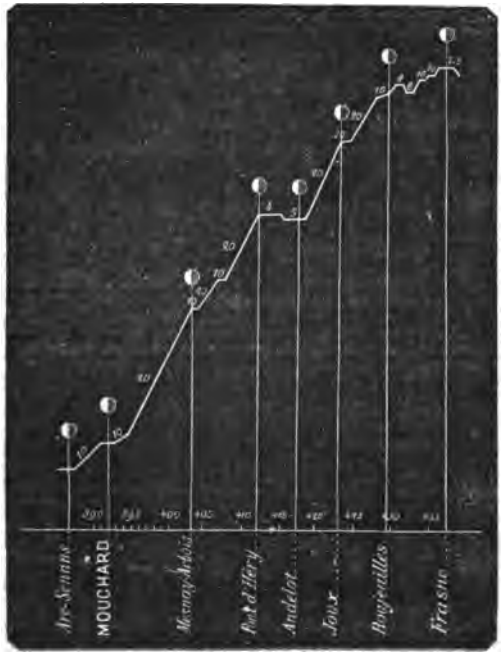
En hiver il est appliqué des réductions de charge permanentes, qui vont jusqu'à 20 p. 100, et des réductions de charge spéciales qui ne dépendent que des conditions du temps.

Les machines allégies remorquent naturellement des trains un peu moins lourds, soit en été respectivement 155 tonnes et 85 tonnes sur les deux sections.

Pour la plus grosse des deux machines pesant 57 tonnes avec son tender, le poids remorqué sur rampe fictive de 12,5 est 3,8 fois le poids mort, et 2,2 fois sur rampe fictive de 22 millim.

On peut encore citer comme exemple de parties accidentées la ligne de Dôle à Neufchâtel par Mouchard et Pontarlier, dont le profil est représenté (fig. 5). Depuis Mouchard en allant vers Pontarlier sur 18 kil.,

Fig. 5.



rampe de 20 millim. Dans l'autre sens, de Auvernier à Boveresse, rampe de 20, 16, 15, 19 sur plus de 25 kilom. Ces deux sections où les rampes

fictives ont été fixées pour les trains de marchandises à 18 millim., sont exploitées avec les mêmes types de machines. Elles doivent y remorquer en été à 15 kil., l'une 148 tonnes soit 2 fois, 6 son poids; l'autre 107 tonnes ou 2 fois son poids.

Ajoutons que pour le calcul des charges, les véhicules sont comptés par convention à 5 tonnes et les marchandises d'après les feuilles de chargement, mais en négligeant les fractions de tonnes, ce qui compenserait à peu près l'excédant du chiffre réglementaire de 5 tonnes sur le poids réel des divers types de wagons.

Chemin de fer de l'Est. — La compagnie de l'Est a deux types de machines puissantes : une machine dite du Creusot, à trois essieux couplés, et la machine Engerth modifiée par isolement du tender.

Voici les principales conditions d'établissement de ces machines :

	Machine du Creusot. (Pl. 37, fig. 9.)	Engerth modifiée. (Pl. 37 ,fig. 10.)
Cylindres { diamètre	0m,440	0m,500
Cylindres { course	0 ,660	0 ,660
Roues, diamètre	1 ,420	1 ,260
Pression	8at	8at
Surface de chauffe. { Foyer	8mq,05	9mq,708
Surface de chauffe. { Tubes	116 ,65	187 ,860
Surface de chauffe. Total	124 ,70	127 ,860
Poids en service, machine	32 à 33t	45t
— tender	20t	24t

Les diverses sections du chemin de fer y sont partagées en quatre classes de profils. Le profil désigné sous le n° 3 est à rampes de 10 mill. et au-dessous; le profil n° 4 renferme des rampes de 12 mill.

Les deux portions entre Blainville et Einvaux, et entre Thionville et Bettembourg, sont les seuls profils du n° 4. Le chemin des Ardennes et divers autres tronçons offrent sept exemples de profils n° 3.

Les charges des trains sont comptées en unités. Un wagon chargé à 5 tonnes est une unité; un wagon vide est 1/2 unité; un wagon à 10 tonnes est 1 1/2 unité. En cas de chargement fractionné, des règles précises indiquent le mode de calcul à adopter.

Or, sur le profil n° 3, les machines du Creusot remorquent,

en été, 30 unités, ou en wagons chargés à 10 tonnes, environ.. 280t
en hiver, 24 — — — .. 224

Les machines Engerth ne sont pas employées sur ces rampes; elles sont affectées au service des gros trains de charbon sur le profil n° 1 à rampes de 5 mill., et elles y remorquent, comme sur le chemin de fer du Nord, 60 unités, ou 40 wagons à 10 tonnes.

Chemin de fer de l'Ouest.— Le chemin de l'Ouest n'a pas de rampes au-dessus de 10 mill. d'inclinaison sur les grandes lignes. Le service des marchandises y est fait par des machines à trois essieux accouplés à tender isolé, dont voici les principales conditions d'établissement (Pl. 37, fig. 11) :

Cylindres	diamètre	$0^{m},440^{mm}$
	course	0 ,600
Roues, diamètre		1 ,400
Pression		8 et 9^{at}
Surface de chauffe		142^{mq}
Poids en service		35^{t}
Poids du tender plein		20

Sur les sections qui renferment des rampes de 10 millim., disséminées sur le parcours, et quelquefois assez longues, et des courbes de 400 mètres de rayon, comme celles de Coulibœuf à Montabard et de Lisieux à Honfleur, la vitesse des trains de marchandises qui est sur le reste de la ligne de 30 kil. est abaissée à 20 kil., la charge est fixée à 300 tonnes.

Ces données correspondent à un effort de traction d'environ $(300+35)(7+10) = 5695$, soit 0,163 du poids adhérent.

Sur les embranchements de Fécamp et de Falaise, qui présentent des rampes de 15 millim. et de 17 millim., il n'y a pas de trains de marchandises ; des trains mixtes peu chargés suffisent au trafic, de sorte que l'examen des résultats de service ne présenterait pas d'intérêt.

Sur la rampe du Vésinet à Saint-Germain, qui a 2,500 mètres de long, et qui, après des inclinaisons croissantes, atteint 35 millièmes sur 1 kil. de long; les machines employées sont des machines tender à trois essieux des dimensions suivantes (Pl. 36, fig. 12) :

Cylindres	diamètre	$0^{m},420$
	course	0 ,600
Roues, diamètre		1 ,280
Pression		9^{at}
Surface de chauffe		84^{mq}
Poids en service		33

Ces machines remorquent 12 voitures à voyageurs à impériale, estimées à environ 100 tonnes.

Deux de ces machines accouplées dos à dos peuvent remorquer des trains de 200 tonnes.

Chemin de fer du sud de l'Autriche. — Le Semmering, sommet le moins élevé des Alpes styriennes, est franchi par le chemin de fer de Gloggnitz à Mürzzuschlag, sur une longueur de 46 kilom. De Gloggnitz à Payerbach, distant de 8 kilom., on ne monte que de 70 mètres environ, soit 7 millim. par mètre; mais, entre cette station et la ligne de faîte, le

chemin s'élève de 890 mètres sur un parcours de 20k,8, soit une inclinaison moyenne de 19 millimètres par mètre, qui atteint 25 mill. sur près de 5 kilom. de long. Du faîte du Semmering à la station de Mürzzuschlag, on redescend du 217 mètres sur 12 kilom. de parcours, soit en moyenne une pente de 18 millièmes. Les courbes sont nombreuses et prononcées; leur rayon descend jusqu'à 180 mètres sur plusieurs parties, mais il n'atteint pas cette limite dans les rampes de 25 millim.

Les machines étudiées pour ce chemin étaient du système Engerth, avec engrenage; elles avaient les principales dimensions qui suivent (Pl. 37, fig. 13) :

Diamètre des cylindres.	0m,475
Course des pistons.	0 ,610
Pression.	9at,75
Surface de chauffe.	153mq
Poids de la machine au départ.	37t,500
Poids au départ du tender accouplé par engrenage.	21,500
Poids adhérent total au départ.	59,000

On peut vérifier, d'après ces nombres, que l'effort de traction, la surface de chauffe et le poids adhérent présentaient entre eux les rapports ordinaires. On aurait pu remorquer avec cette machine environ 250 ton. sur la rampe de 25 millim.

Mais, l'engrenage ayant dû être abandonné dès l'abord, ces machines restèrent de simples machines à trois essieux accouplés, et 37t,5 de poids adhérent. C'est ainsi qu'elles furent employées depuis 1853 jusqu'à ces dernières années (Pl. 37, fig. 14).

On conçoit que cette faible adhérence ne permettait plus d'utiliser les puissants moyens d'action qu'on avait achetés au prix d'un énorme poids et d'une assez grande complication, et que la machine devenait un appareil disproportionné. Aussi donna-t-elle des résultats de service des plus médiocres. On ne traînait que 120 tonnes (8 à 9 wagons à 10 tonnes); il fallait partager les trains en trois parties au pied du Semmering.

Notre collègue, M. Desgrange, a changé cet état de choses par une modification dont il a fait part à la société dans une communication des plus intéressantes. Il fixa à la machine le quatrième essieu (Pl. 37, fig. 15), l'accoupla aux trois premiers, isola le tender, enleva les caisses à eau de dessus la machine et améliora la répartition par l'addition d'une certaine masse de fonte. La machine ainsi modifiée pèse. 46,400 kil., p. adhér.
le tender au départ pèse. 19,600

Ensemble. . . . 66,000

Cette augmentation du poids adhérent permet de remorquer à la vitesse de 15 kil., 175 tonnes au lieu de 120, de sorte que les trains ne sont plus

partagés au pied de la rampe qu'en deux parties au lieu de trois. 175 tonnes représentent à peu près 2,7 fois le poids mort du moteur.

Chemin de Turin à Gênes. — La rampe de Ponte-Decimo à Busalla, sur le chemin de fer de Turin à Gênes, a une inclinaison qui va jusqu'à 35 millim. par mètre; les courbes ont au minimum 400 mètres de rayon. Le service y était fait jusque dans ces derniers temps par des groupes de deux machines tender à deux essieux, accouplées par l'arrière (Pl. 37, fig. 37). Un nouveau type de machines tender à trois essieux, également accouplées par l'arrière, a été adopté sur ce chemin et permet d'y remorquer de plus fortes charges. Un mécanicien et deux chauffeurs conduisent chaque groupe.

L'exemple de la rampe des Giovi a cela de particulier qu'à cause des circonstances climatériques, l'adhérence y est généralement très-faible. Ainsi, tandis qu'on compte généralement en France, en temps ordinaire, sur un coefficient d'adhérence variant de 1/6 au 1/8, il paraîtrait que ce coefficient s'élève rarement aux Giovi au-dessus de 1/10. Un tunnel fort humide en rampe de 29 millièmes présente surtout des conditions si mauvaises, que l'on est obligé de diminuer d'un wagon la charge des trains sur toute la rampe en vue du franchissement de ce passage, et encore est-il rare que les machines n'y patinent pas plus ou moins.

A cause de ces conditions particulières, la pression et les dimensions des cylindres ont été choisies beaucoup plus faibles qu'on ne les eût choisies en France, comparativement au poids adhérent. Ces considérations montreraient une fois de plus, s'il en était besoin, l'impossibilité d'aucune comparaison rigoureuse entre les résultats de traction obtenus sur divers chemins par les différents types de machines.

Les principales conditions d'établissement des machines doubles nouvelles des Giovi sont les suivantes :

Cylindres, diamètre	$0^{m},406$
— course.	0, 558
Roues, diamètre	1, 220
Pression.	7^{at}
Surface de chauffe.	201^{mq}
Poids des machines au départ.	66^{t}

Avec ces machines on remorque à faible vitesse dix wagons pesant chacun 12 tonnes, soit moins de deux fois le poids de moteur. Il arrive quelquefois qu'on est obligé de retirer un wagon; c'est toujours à cause du manque d'adhérence, jamais pour manque de production.

Les principales indications qui précèdent sur les machines employées au service des chemins accidentés sont résumées dans ce tableau ci-contre :

SECTIONS DESSERVIES.	DÉSIGNATION DES CHEMINS DE FER.	NORD.					ORLÉANS.	
	LIGNES DESSERVIES.	Grande ligne.					Montluçon à Commentry.	
	Inclinaison maximum des rampes.	5m/m.					15m/m.	
	Rayon minimum des courbes.	500m.					300m.	
MACHINES EMPLOYÉES.	Numéros d'ordre des machines. et des diagrammes qui les représentent.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
	DÉSIGNATION DES TYPES.	Petite à 3 essieux couplés à tender isolé.	Moyenne du Creusot à 3 essieux couplés à tender isolé.	Grosse Engerth à 4 essieux couplés.	Fortes rampes à 4 essieux couplés.	4 cylindres à 6 essieux moteurs.	A 3 essieux couplés à tender isolé.	A 4 essieux couplés à tender isolé.
	Diamètre des cylindres	m. 0.380	m. 0.460	m. 0.500	m. 0.480	m. 0.440	m. 0.450	m. 0.50
	Course des pistons.	0.610	0.680	0.660	0.480	0.440	0.650	0.65
	Diamètre des roues.	1.260	1.420	1.260	1.600	1.060	1.160	1.16
	Tension de la vapeur.	7 atm.	7	8	9	9	8	8
	Surface de chauffe. Foyer. . . .	m.q. 5.50	9.07	10.75	10.00	10.00	7.0581	10.63
	Surface de chauffe. Tubes. . . .	68.60 (1)	117.53 (1)	186.23 (1)	156.80 (2)	211.00 (3)	133.4281 (4)	196
	Surface de chauffe. Totale. . .	74.10	126.60	196.98	166.80	221.00	140.4862	206.8
	Poids de la machine en service.	22.900k	32.800k	40.000k	45.000k	59.700k	36.300k	44
	— du tender au départ. . . .	16.100	17.800	22.800	»	»	21.000	18.30
	— total au départ.	39.000	50.600	62.800	45.000	59.700	57.300	62.8
	— adhérent	22.900	32.800	40.000	45.000	59.700	36.300	44.3
RÉSULTATS OBTENUS.	Charge maxima remorquée en service d'été	tonnes. 306	436	655	436	655	216	25
	Vitesse réglementaire à l'ascension des rampes.	kilom. 20	20	20	20	20	15	15

(1) Surface intérieure des tubes. (2) Surface intérieure des tubes et sécheur de 12mq.
(4) Surface extérieure des tubes.

TION.	EST.		OUEST.		SUD DE L'AUTRICHE.			TURIN A GÊNES.	
Rampe de Terre-Noire.	Sections en rampe de 12m/m	Grande-ligne.	Coulibœuf à Montabard. Lisieux à Honfleur.	Rampe du Pecq.	Semmering.			Rampe du Giovi.	
m/m. »	12m/m. »	5m/m. »	10m/m. 400m.	35m/m. »	25m/m. 400m.			35m/m. 400m.	
8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
3 essieux couplés à tender isolé.	Du Creusot à 3 essieux couplés à tender isolé.	Engerth (modifiée par isolement du tender) à 4 essieux couplés.	3 essieux couplés à tender isolé.	Machines tender à 3 essieux couplés.	Engerth (à engrenages) à 5 essieux couplés.	Engerth (sans engrenages) à 3 essieux couplés.	Engerth (modifiée par isolement du tender) à 4 essieux couplés.	Double à 4 essieux.	Double à 6 essieux.
m. 0.450	m. 0.440	m. 0.500	m. 0.440	m. 0.420	m. 0.475	m. 0.475	m. 0.475	m. 0.856	m. 0.406
0.650	0.660	0.660	0.600	0.600	0.610	0.610	0.610	0.558	0.558
1.300	1.420	1.260	1.400	1.280	1.065	1.065	1.065	1.068	1.220
8	8	8	8 et 9	9	9.75	9.75	9.75	7	7.8
8.3000	8.05	9.7080	8.00	6.50	7.00	7.00	7.00	14.60	14.60
5.68 (1)	116.65 (2)	187.8600 (1)	134.00 (3)	77.5 (3)	146.00 (3)	146.00 (3)	146.00 (3)	130.00 (3)	186.40 (3)
3.9600	124.70	197.5680	142.00	84.00	153.00	153.00	153.00	144.00	201.00
7.000k	33.000k	45.000k	33.000k	33.000k	41.600k	37.500k	46.400k	54.000k	66.000k
0.000	20.000	24.000	20.000	»	26.000	21.500	19.660	»	»
7.000	53.0 0	69.000	53.000	33.000	67.600	59.000	66.000	54.000	66.000
7.000	33.00	45.000	33.000	33.000	67.600	37.500	46.400	54.000	66.000
122	280	600	300	100	250	120	175	»	120
15	20	20	25	»	15	15	15	15	15

(2) Surface intérieure des tubes et sécheurs de 22mq.

(4) Moyenne entre la surface intérieure et la surface extérieure des tubes.

CONCLUSIONS.

En résumé, les nouvelles locomotives du chemin de fer du Nord présentent divers principes nouveaux qui pourront trouver dans d'autres types de machines une utile application.

La chaudière surtout est d'une construction intéressante ; elle est combinée de façon à donner une grande quantité de vapeur sèche avec du combustible médiocre et avec un poids de métal relativement faible.

Quant au mécanisme, il est double sur l'un des types de machines, ce qui permet de réunir sur un bâti rigide un poids adhérent considérable, sans transmission compliquée.

Ces machines font un service de traction économique sur une grande ligne à profil ordinaire et remorquent des trains très-chargés. Elles sont ainsi appropriées au trafic des chemins de fer appelés à desservir des transports importants, réguliers et à grande distance, de matières encombrantes ; elles permettent dans ces conditions de notables abaissements de tarifs.

Ces machines donnent aussi de bons résultats sur les chemins de montagnes ; leur production abondante, leur légèreté relative, l'utilisation de tout le poids pour l'adhérence, leur permettent de remorquer sur les rampes à une vitesse convenable autant de charge que comporte l'état des rails, eu égard aux circonstances climatériques. Quant à la facilité avec laquelle elles circulent dans les courbes à faible rayon, l'expérience de Saint-Gobain témoigne de la possibilité même du franchissement. L'appareil de M. Beugniot ne paraît pas avoir contribué à la flexibilité de la machine. Quant à l'augmentation de l'effort de traction, à l'usure des bandages ou de la machine en général, aux tendances au déraillement en cas d'une circulation habituelle dans ces courbes prononcées, ces questions sont entièrement réservées et ne peuvent être résolues que par un service prolongé.

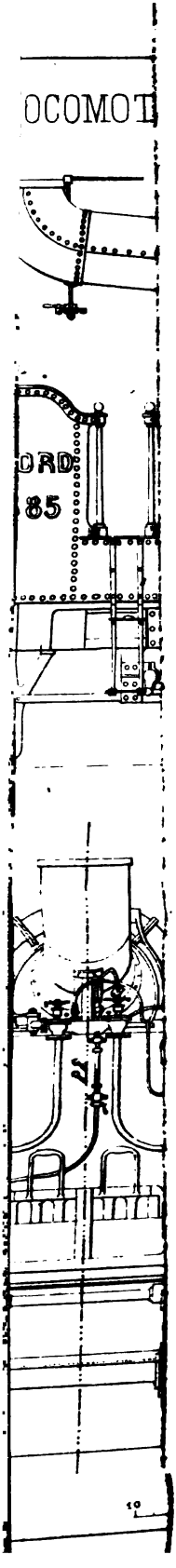
Le service des parties accidentées de divers chemins de fer français et étrangers se fait à faible vitesse, avec de faibles charges, et il serait possible que, dans quelques cas, les machines nouvelles permissent de réaliser sur l'état actuel du service de notables améliorations.

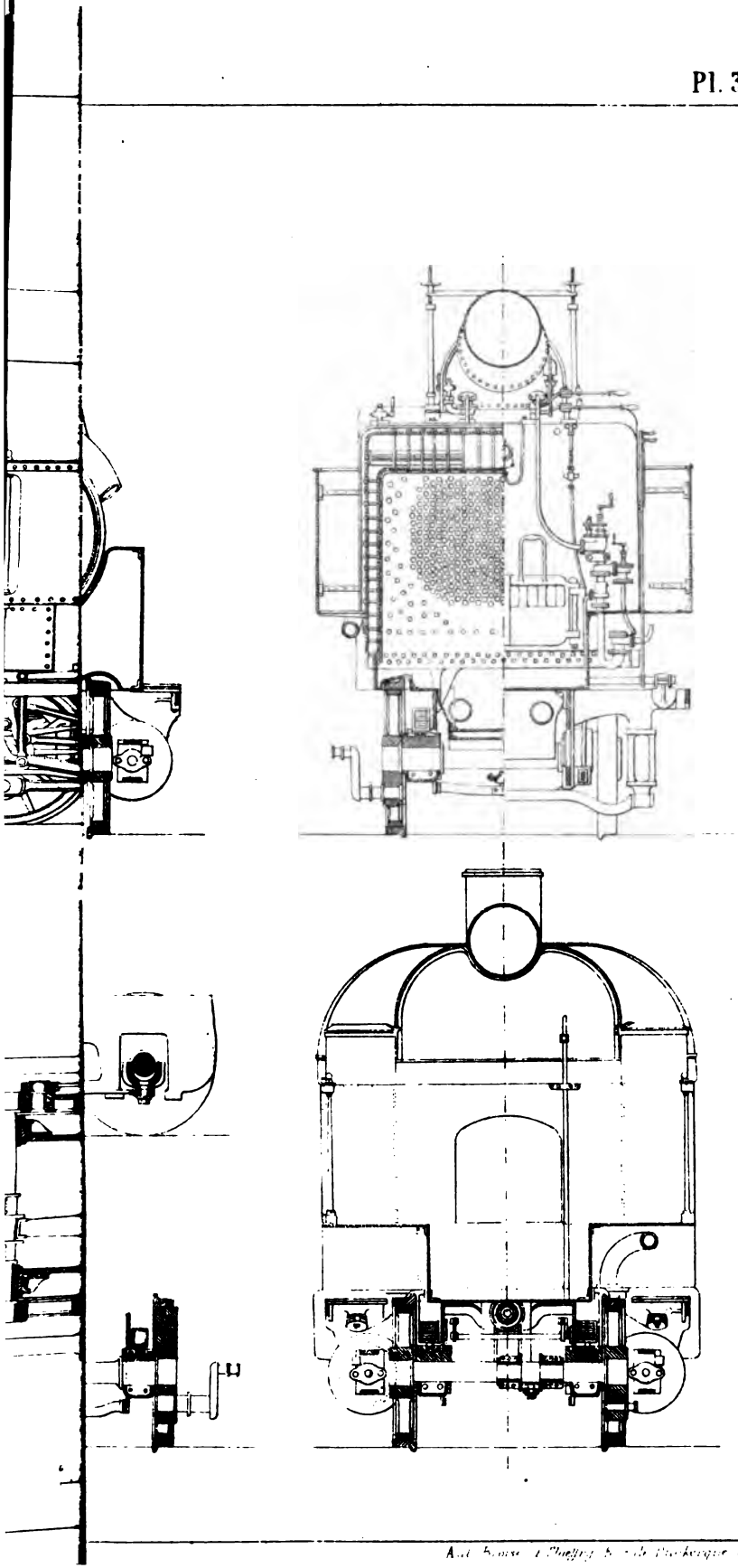
Enfin, s'il nous est permis d'émettre ici une opinion résultant pour nous de l'examen de tous les faits qui précèdent, nous dirons qu'à la suite des progrès réalisés dans la construction des locomotives et des hardiesses croissantes du tracé des chemins de fer, le problème nous semble s'être déplacé.

L'augmentation d'inclinaison des rampes et la diminution de rayon des courbes, faisant croître considérablement la résistance à la traction de l'unité de charge, obligent impérieusement à sacrifier ou la charge ou la vitesse. Pour ne pas trop diminuer la première, on consent, au moins,

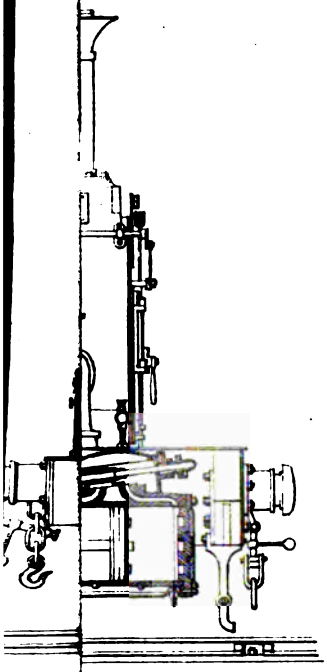
pour le transport des marchandises, à réduire la seconde. On cherche à modifier dans ce sens l'utilisation du travail disponible des machines; on veut produire de grands efforts de traction avec une moindre vitesse. Or, pour atteindre ce but, il faut de l'adhérence. D'autre part, si jusqu'à ces derniers temps, on a cherché à minimer le poids des locomotives, parce qu'on avait peine à obtenir la surface de chauffe et l'effort de traction convenables sans dépasser les limites de poids imposées; il arrive aujourd'hui, que tout en surchargeant la machine elle-même du poids des approvisionnements, elle se trouve encore trop légère pour utiliser, dans certains cas, l'effort de traction et la surface de chauffe. C'est l'adhérence qui manque, et peut-être serait-il opportun de rechercher les moyens d'augmenter dans le mauvaise saison le coefficient d'adhérence. Les tentatives faites autrefois dans ce sens et qui, à l'époque où elles se sont produites, n'ont pas obtenu une suffisante attention, pourraient peut-être être reprises aujourd'hui avec intérêt.

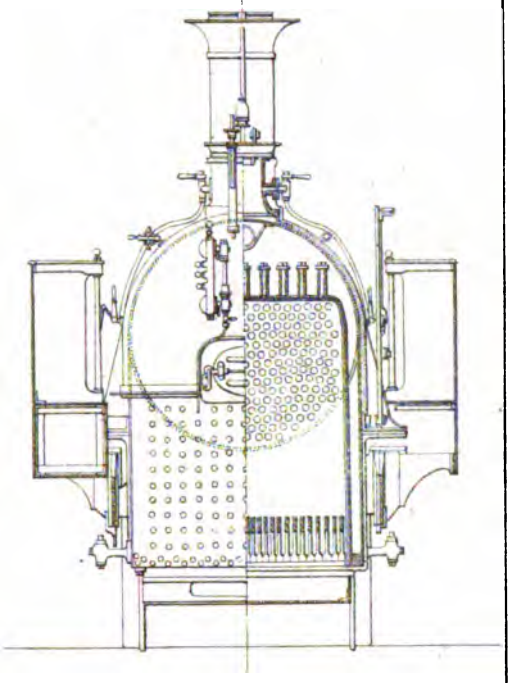
Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

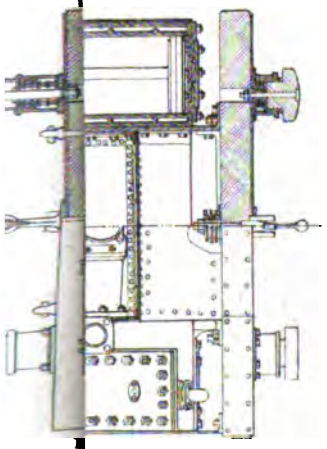

OCOMOT
CRD
85

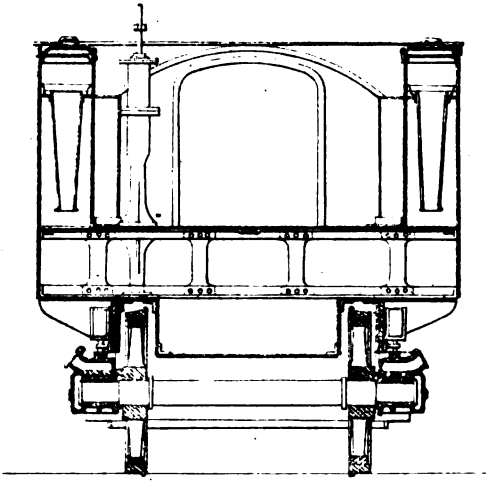


es)

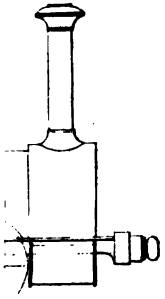


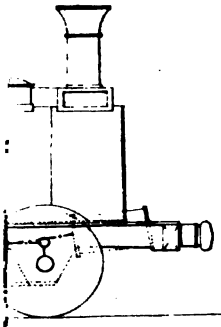


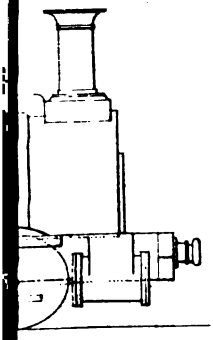




'PES COMPARA



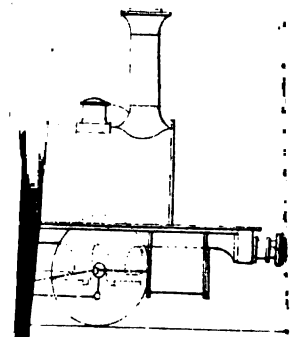


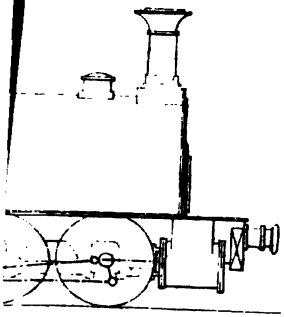


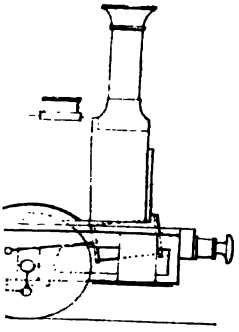
Echelle

2 3 4

YPES COMPARA







Echelle de

3 4 5

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI, JUIN 1864)

N° 26

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Régulateur isochrone,* de M. Léon Foucault. (Voir le résumé de la séance du 1er avril 1864, page 156).

2° *Enseignement professionnel,* rapport de la commission. (Voir le résumé de la séance du 1er avril 1864, page 157.)

3° *Nouvelles machines à marchandises* du chemin de fer du Nord. (Voir le résumé de la séance du 1er avril, page 162.)

4° *Fabrication et réception des rails,* par M. Rubin. (Voir le résumé de la séance du 15 avril 1864, page 163.)

5° *Exploitation du Semmering,* par M. Desgrange. (Voir les résumés des séances du 15 avril et 20 mai 1864, pages 164, 179 et 208.)

6° *Service des télégraphes en Belgique,* par M. Vinchent. (Voir le résumé de la séance du 15 avril 1864, pages 165 et 255.)

7° *Fonte Gruson,* par M. Richoux. (Voir le résumé de la séance du 15 avril 1864, page 167.)

8° *Discours d'installation de M. MacClean,* président de la Société des

ingénieurs civils de Londres (Analyse et traduction du), par M. Dallot. (Voir le résumé de la séance du 6 mai 1864, page 171.)

9° *Bétons agglomérés*, par M. Coignet. (Voir le résumé de la séance du 6 mai 1864, page 174.)

10° *Théorie mécanique de la chaleur* (échappement des locomotives), par M. Vidal. (Voir le résumé de la séance du 20 mai 1864, page 180.)

11° *Chauffage système Siemens*, son application à la métallurgie du fer, par M. Marin. (Voir le résumé de la séance du 20 mai, pages 182 et 223.)

12° *Usure et renouvellement des rails*. (Voir les résumés des séances des 3 et 17 juin, pages 187 à 207.)

13° *Situation financière de la Société*. (Voir le résumé de la séance du 17 juin, page 200.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Baudouin, membre de la Société, un exemplaire d'une brochure sur *la liberté du travail et les coalitions*.

2° De M. Gérondeau, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur *les machines à gaz*.

3° De M. Rey, membre de la Société, une note sur *les machines locomotives pour fortes rampes et courbes à petits rayons du système Vaessen*.

4° De M. Charbonnier, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur *la détermination du volant et du régulateur à boules ramenant la vitesse de régime*.

5° De M. Salvetat, membre de la Société, un exemplaire d'un ouvrage intitulé : *Chimie céramique, géologie, métallurgie*, par MM. Ebelmen et Salvetat.

6° Les numéros d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre du bulletin de la *Société de l'Industrie minérale*.

7° De M. Guettier, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur la *Propagation des connaissances industrielles*.

8° De M. Grateau, ingénieur civil des mines, un exemplaire de sa

Revue semestrielle des travaux d'exploitation des mines de la métallurgie et de la construction.

9° Les numéros d'avril, mai et juin du *Génie industriel.*

10° Les numéros d'avril, mai et juin du bulletin de la *Presse scientifique des Deux-Mondes.*

11° Les numéros d'avril, mai et juin de la *Revue les Mondes.*

12° Les numéros de février, mars, avril et mai du *Bulletin de la Société d'encouragement.*

13° Les numéros de février, mars, avril, mai et juin, de l'*Album pratique de l'Art industriel.*

14° De M. Eugène Pereire, membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport au Corps législatif sur la Caisse des retraites pour la vieillesse.*

15° Le numéro de la deuxième livraison de 1864 des *Publications administratives*, par M. Louis Lazare.

16° De M. Dallot, membre de la Société, l'*analyse du discours* de M. MacClean, président de la Société des Ingénieurs civils de Londres.

17° De M. Marin, membre de la Société, une note sur le *système de chauffage de M. Siemens et son application à la métallurgie du fer.*

18° De M. Schuwab, membre de la Société, une note sur un *nouveau système de voie pour chemin de fer par traction de chevaux.*

19° Le numéro du bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

20° De M. de Dion, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur la *production et le commerce des sucres.*

21° Les numéros de mars, avril et mai des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées.*

22° Les numéros d'avril, mai et juin du *Journal le brevet d'invention.*

23° Les numéros de janvier, février, mars et avril de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie.*

24° De l'École impériale des ponts et chaussées un exemplaire de la *Collection des dessins distribués aux élèves.*

25° Le numéro 12 de la *Revue des ingénieurs autrichiens.*

26° Les numéros d'avril, mai et juin, des *Nouvelles annales de la construction.*

27° Les numéros d'avril, mai et juin du *Portefeuille économique des machines.*

28° Les numéros de septembre et octobre des *Annales des ponts et chaussées.*

29° Le numéro d'août 1863 du *Bulletin de l'Institution of Mechanical Engineers.*

30° Les numéros de janvier, février, mars, avril, mai et juin des *Annales télégraphiques.*

31° Le numéro d'avril des *Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers.*

32° De M. Richoux, membre de la Société, une note sur *la presse ster-hydraulique* de MM. Desgoffe et Ollivier.

33° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, une note supplémentaire sur l'*usure et le renouvellement des rails.*

34° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, une lettre relative à la question de l'enseignement professionnel.

35° De M. Vidal, membre de la Société, un exemplaire de ses notes sur la discussion et l'interprétation des formules analytiques.

36° Un exemplaire de l'*organisation de la Société d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube.*

37° Le numéro de la première livraison de 1864 des *Annales des mines.*

38° Les numéros d'avril, mai et juin 1864 du Bulletin de la *Société industrielle de Mulhouse.*

39° De M. Bournique, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur un *Nouveau système de voitures à voyageurs à deux étages ou à impériale fermée.*

40° Les numéros d'avril, mai et juin du *Journal The Engineer.*

Les Membres nouvellement admis comme sociétaires sont les suivants :

Au mois d'avril :

MM. Ameline, présenté par MM. Benoit-Duportail, Mayer et Ribail.
Berger, présenté par MM. Petiet, Peligot et Tronquoy.

MM. Boucard, présenté par MM. Alquié, Mathias et Petiet.
Boudent, présenté par MM. Alquié, Petiet et Tronquoy.
Boutté présenté par MM. Benoit-Duportail, Nillis et Petiet.
Cail, présenté par MM. Caillet, Houel et de Mastaing.
Caisso, présenté par MM. Flachat, Mayer et Ribail.
Comte, présenté par MM. Duval, Petiet et Sautter.
Cornaille, présenté par MM. Lasvignes, Marché et Rey.
Crépin, présenté, par MM. Geoffroy, Nozo et Petiet.
Daveluy, présenté par MM. Mathias, Mirecki et West.
Dujour, présenté par MM. Le Brun, Tardieu et West.
Durenne, présenté par MM. Muller, Richard et Petiet.
Elwel, présenté par MM. David, Lecherf et Richoux.
Faucon, présenté par MM. Callon, Loustau et Petiet.
Febvre, présenté par MM. Caillet, Houel et de Mastaing.
Fernique, présenté par MM. Alquié, Donnay et Petiet.
Gauthey, présenté par MM. Tardieu, Thomas et Xavier.
Griéges (de), présenté par MM. Flachat, Mayer et Rhoné.
Henri-Lepaute, présenté par MM. Alquié, Mathias (Félix) et Petiet.
Herpin, présenté par MM. Alquié, Bernard et Donnay.
d'Hurcourt, présenté par MM. Alquié, Donnay et Petiet.
Jacquesson, présenté par MM. Fuchet, Peligot et Thirion.
Juteau, présenté par MM. Caillet, Gotschalk et Houel.
Komarnicki, présenté par MM. Alquié, Callon et Donnay.
Lacroze, présenté par MM. Callon, Courtépée et Petiet.
Macé, présenté par MM. Lacombe, Lecherf et Rubin.
Mary, présenté par MM. Desnos, Guillaume et Vuigner.
Mazade (de), présenté par MM. Courras, Guérin de Litteau et Maire.
Mesnard, présenté par MM. Caillet, Houel et de Mastaing.
Morandière (Jules), présenté par MM. Desmousseaux de Givré, Forquenot et Nozo.
Morandière (Émile), présenté par MM. Desmousseaux de Givré, Forquenot et Nozo.
Moreaux, présenté par MM. Caillet, Houel et de Mastaing.
Morel, présenté par MM. Fuchet, Peligot et Thirion.
Pasquet-Chamier, présenté par MM. Chobrzynski, de Fonbonne et Tronquoy.
Pierre, présenté par MM. Callon, Perdonnet et Petiet.
Poulot, présenté par MM. David, Lecherf et Richoux.
Poupard, présenté par MM. Caillet, Houel et de Mastaing.
Rohart, présenté par MM. Courtépée, Geoffroy et Nozo.
Roseau, présenté par MM. Chobrzynski, Loustau et Mathias.
Sérafon, présenté par MM. Loustau, Petiet et Thouin.
Songaylo, présenté par MM. Benoit-Duportail, Mayer et Ribail.
Touron, présenté par MM. Alquié, Donnay et Petiet.

MM. Turck, présenté par MM. Flachat, Mayer et Nozo.
Vérité, présenté par MM. Alquié, Champouillon et Petiet.
Villermé, présenté par MM. Laurent, Salvetat et Tresca.
Vinit, présenté par MM. Jousselin, Tardieu et West.

Au mois de mai :

MM. Bossi (de), présenté par MM. Hubert, Malo et Peligot.
Brouilhet, présenté par MM. Alquié, Donnay et Lévy.
Bourgeat, présenté par MM. de Mastaing, Molinos et Pronnier.
Casaux, présenté par MM. Gaget, Loustau et Petiet.
Crespin, présenté par MM. Dru, Love et Richoux.
Déodore, présenté par MM. Coquerel, Donnay et Petiet.
Faure-Baulieu, présenté par MM. de Branville, Callon et Petiet.
Fell, présenté par MM. Desbrière, Flachat et Molinos.
Foucault, présenté par MM. Petiet, Sautter et Tresca.
Hallié, présenté par MM. Limet, Loustau et Tresca.
Joyant, présenté par MM. Goschler, Picard et Sarazin.
Langlois, présenté par MM. Limet, Loustau et Tresca.
Lavergne, présenté par MM. Callon, Lefevre et Mathieu.
Lefèvre, présenté par MM. Loustau, Petiet et Vuillemin.
Le Roy Desclosages, présenté par MM. Petiet, Salvetat et Tresca.
Pelegrin, présenté par MM. Barrault, E., Le Cler et Thirion.
Piet, présenté par MM. Bouillon, Muller et Peligot.
Place (de), présenté par MM. Gibon, Martin et Petiet.
Poncelet, présenté par MM. Agudio, Goschler et Guérin de Litteau.
Raspail, présenté par MM. Devaureix, Paul et Peligot.
Thomas, présenté par MM. Arson, Loustau et Salvetat.
Vaillant, présenté par MM. Goschler, Mathias et Petiet.

Comme Membre-Associé :

M. de Milly, présenté par MM. Desbrière, Loustau et Petiet.

Au mois de juin :

MM. Asselin, présenté par MM. Callon, Mauguin et Tresca.
Bertrand, présenté par MM. Étienne, Petiet et Salvetat.

BULOT, présenté par MM. Baumal, Boitard et De Coene.
DARET-DERVILLE, présenté par MM. Étienne, Petiet et Salvetat.
DESGOFFE, présenté par MM. Love, Marché et Richoux.
DEVILLE, présenté par MM. Bara, Jacquin et Perdonnet.
DIDIERJEAN, présenté par MM. Bossu, Callon et Goschler.
FALQUEROLLES, présenté par MM. Étienne, Petiet et Salvetat.
GOUTAUDIER, présenté par MM. Étienne, Petiet et Salvetat.
JUBECOURT (de), présenté par MM. Chobrzynski, Love et Salvetat.
LELOUP, présenté par MM. de Fonbonne, Forey et Gibon.
LEPEUDRY, présenté par MM. Arson, Lepeudry et Vuigner.
NEHSE, présenté par MM. Arson, Brüll et Marin.
RICHEMOND, présenté par MM. Cheronnet, Delannoy et Limet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1864

Séance du 1er Avril 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. TRESCA donne lecture d'une lettre de M. J.-J. Meyer, qui réclame la propriété de l'invention du régulateur parabolique à contre-poids, attribuée dans la séance du 4 mars à M. Charbonnier.

La confusion résulte probablement de ce que M. Charbonnier a fait connaître ce régulateur, appliqué dès 1835, en le décrivant dans le Bulletin n° 83 de la Société industrielle de Mulhouse (1844).

M. J.-J. Meyer s'en rapporte à M. Charbonnier pour certifier le fait.

M. LE PRÉSIDENT, en donnant la parole à M. Sautter pour faire lecture d'une note dans laquelle sont résumées les idées qui ont été développées par lui dans les précédentes séances relativement aux régulateurs, informe les membres présents que si cette note doit donner lieu à une discussion, la discussion sera ajournée.

M. SAUTTER rappelle que dans la dernière séance M. de Mastaing a émis cette opinion, que la position oblique du levier du contre-poids précédemment employé par MM. J.-J. Meyer et Charbonnier, et par M. Farcot, n'était pas incompatible avec la connaissance du principe d'un isochronisme rigoureux.

Pour justifier cette assertion, M. de Mastaing considère ce contre-poids comme la résultante de deux autres, dont l'un serait affecté par *la pensée* à charger ou à décharger le manchon d'un poids constant, et dont l'autre occuperait la position correcte indiquée par M. Foucault pour produire réellement l'isochronisme.

Cette manière de discuter la direction fautive du levier du contre-poids est une interprétation imaginée après coup, et qui laisse subsister le caractère empirique du résultat.

En effet, maintenant que nous sommes en possession des véritables conditions d'isochronisme, si nous voulions sincèrement nous réserver la double faculté d'agir sur la vitesse par un contre-poids constant, et sur l'isochronisme par la composante

variable d'un autre contre-poids, nous nous garderions bien de les confondre en un seul, et de masquer le principe en nous interdisant de faire varier isolément ces deux éléments importants. Si donc on les trouve confondus dans les combinaisons précédemment employées, c'est que les auteurs n'avaient pas su les démêler ; car, s'ils l'avaient fait, ils n'auraient pas manqué de s'en faire honneur et de donner explicitement l'énoncé d'un principe qui n'est pas sans intérêt.

Mais il y a plus, l'adjonction d'un contre-poids monté sur un levier coudé à angle droit ne donne à la limite des écarts une solution rigoureuse de l'isochrisme qu'autant que les deux bras du régulateur sont articulés en un seul point ainsi que les côtés additionnels du parallélogramme.

Or, tout le monde sait que ces conditions n'étaient jamais remplies ; l'importance en était totalement méconnue ; tantôt les bras étaient suspendus en deux points séparés, tantôt les côtés additionnels avaient des articulations distinctes, tantôt le système articulé formait un quadrilatère à côtés inégaux ; en un mot, on se permettait, dans la construction du pendule régulateur, une foule de variantes incompatibles avec une solution rigoureuse, et qui excluent toute idée de la connaissance des véritables conditions d'isochronisme.

Cessons donc de chercher à nous faire illusion par l'interprétation forcée d'une disposition vicieuse, et de vouloir retrouver dans le vague du passé les vestiges d'un principe qui n'avait pas été remarqué et qui apparaît aujourd'hui dans toute sa simplicité.

En résumé, quand on veut se borner à l'emploi d'un simple levier coudé pour transmettre l'action du contre-poids, l'isochronisme du pendule régulateur dépend essentiellement de la réunion des conditions suivantes :

1° Les deux bras suspendus en un seul point sur l'arbre ;

2° Les côtés additionnels, formant quadrilatère, articulés également en un seul point ;

3° Le quadrilatère à côtés égaux ou parallélogramme losange ;

4° Le levier du contre-poids coudé à angle droit.

En dehors de ces conditions géométriquement définies, l'isochronisme ne peut être obtenu que par une approximation empirique.

M. le Président annonce à la Société que, M. Desgrange ayant envoyé une nouvelle note sur les locomotives du Semmering, M. Vuillemin a bien voulu se charger de rendre compte, dans une prochaine séance, de l'ensemble des documents reçus sur cette question.

M. Goschler donne lecture du rapport de la commission nommée dans le sein du comité pour l'étude de la question de l'enseignement professionnel.

RAPPORT de la Commission[1] sur la Proposition de M. Goschler, relative à l'enseignement professionnel.

Messieurs,

La question de l'enseignement professionnel à ses différents degrés est une de celles qui préoccupent le plus les esprits en ce moment. Un grand nombre d'institutions

1. Cette commission était composée de MM. Tresca, président, J. Farcot, Ch. Laurent, Limet, A. Nozo, et Ch. Goschler, rapporteur.

lui sont dès longtemps consacrées. Elles ont rendu d'immenses services, et l'on se demande de tous côtés si ce mouvement général des esprits ne pourrait pas être régularisé pour devenir plus efficace encore.

Par une lettre en date du 4 février dernier, l'un de nos collègues a demandé à notre Président de proposer au Comité la mise à l'ordre du jour de la question de l'enseignement professionnel, partie essentielle du programme que la Société s'est tracé dès sa création. Cette proposition, favorablement accueillie par le Comité, a été renvoyée à l'examen d'une commission. C'est le résultat de cette étude que nous avons l'honneur de vous exposer aujourd'hui.

Tous les hommes en contact avec l'industrie ont reconnu depuis longtemps que les ouvriers français, si intelligents et si laborieux, sont en général, sous le rapport de l'instruction, inférieurs aux ouvriers étrangers, aux Allemands et aux Anglais notamment. Cet état d'infériorité tient à deux causes.

Les Allemands, astreints à l'instruction obligatoire, ne quittent les bancs de l'école que lorsqu'ils savent lire, écrire et calculer d'une manière suffisante pour les besoins ordinaires de la vie. C'est un fait bien établi. L'un de nous l'a confirmé en citant l'exemple de ses ateliers de sondage installés sur les frontières de l'Est. Les contre-maîtres embauchent souvent des ouvriers allemands comme auxiliaires. Grâce aux instructions qu'ils reçoivent, aux notions précises et clairement tracées dans un manuel publié spécialement en vue du but proposé, et dont les chefs ouvriers sont tous munis, ils acquièrent en très-peu de temps des connaissances pratiques suffisantes pour pouvoir diriger eux-mêmes une équipe séparée, établir des rapports très-convenablement rédigés et surtout appuyés de croquis et dessins dont la lecture ne présente aucune difficulté.

La supériorité des ouvriers anglais tient, en grande partie, à ce que, dans ce pays, on abandonne rarement la carrière dans laquelle on est né, et que, quand ils entrent dans un atelier, les jeunes gens sont déjà initiés, par leur père, aux détails pratiques du métier.

Quant aux ouvriers français, depuis l'abolition des jurandes et maîtrises, ils ne trouvent plus à leur portée d'instruction pratique que dans l'apprentissage ordinaire. Les parents, pour profiter, aussitôt que possible, du gain qu'ils peuvent faire produire à leurs enfants, les retirent de l'école (quand ils les y ont envoyés) pour les mettre en apprentissage dès que la loi le leur permet, c'est-à-dire à 12 ans.

Si cette dernière institution fonctionnait convenablement, les apprentis pourraient généralement puiser à cette source une grande partie, sinon la totalité des connaissances pratiques nécessaires à l'exercice de leur métier ; mais nous savons, par le compte rendu des conseils de prud'hommes, à quelles difficultés on arrive, quand on veut faire exécuter les contrats qui lient le maître et l'apprenti.

Il y a certainement quelques exceptions; mais, comme toujours, elles confirment la règle. Dans un établissement de premier ordre, de très-bons résultats ont été obtenus par le moyen suivant : on n'admet que des enfants d'ouvriers attachés à l'usine ou de parents bien connus pour leur moralité, et sur lesquels les chefs de l'établissement conservent une certaine autorité morale. Ils doivent savoir lire et écrire. En entrant, ils sont immédiatement attachés à l'atelier des modèles; une fois au courant de ce travail, ils passent au bureau des études, où ils sont exercés, pendant plusieurs mois, à calquer, puis à tracer des dessins d'exécution. En quittant le bureau de dessin, ils peuvent entrer à l'atelier d'ajustage et de montage. Généralement, arrivés à l'âge de 20 ans, ils sont parfaitement formés. Ces dispositions rencontrent chez quelques

parents une vive opposition qui se traduit souvent par une rupture de conventions, dans tous les cas, amiable, car l'établissement ne fait point de contrat.

Les ateliers d'un chemin de fer à Paris reçoivent 25 apprentis. — On les prend à 12 ans, et leur première communion faite. On exige qu'ils apportent des certificats de présence assidue aux cours du soir qui se font dans leur quartier. Quittant les ateliers à 5 heures, ils ont tout le temps nécessaire pour s'y préparer.

Un inspecteur du service du matériel et de la traction est chargé de les interroger, de les examiner périodiquement; et, sur les rapports qu'il fait à leur sujet, la compagnie distribue tous les ans, aux apprentis, des prix consistant en livrets de la caisse d'épargne, de 50 et 25 fr., et en livres. Les livrets sont inaliénables jusqu'à l'âge de 21 ans.

Sous le rapport du travail manuel, les apprentis sont disséminés dans les ateliers. On les exerce successivement au travail de tous les outils, jusqu'à ce qu'ils aient fait choix de la spécialité à laquelle ils donnent la préférence. Les apprentis reçoivent dès le début un salaire qui va en croissant de 0 fr. 50 à 2 fr., selon le temps écoulé et l'aptitude développée dans le travail. Généralement, au bout de 3 ans, leur apprentissage est terminé, et quand ils atteignent le salaire de 2 fr. par jour, ils reçoivent un livret d'ouvrier, constatant qu'ils ont fait leur apprentissage dans les ateliers de la compagnie.

En France, c'est l'Alsace qui marche à la tête des essais tentés par les industriels pour faire pénétrer, dans les classes ouvrières, l'instruction élémentaire qui leur fait défaut. Les chefs de quelques grandes usines obligent les apprentis à étudier, tout en s'exerçant au métier qu'ils ont choisi. Mais le temps consacré par les enfants aux études n'est pas suffisant, et les patrons voudraient qu'il fût au moins égal à celui employé aux occupations manuelles.

Nous trouvons les mêmes questions à l'étude dans de grands établissements récemment construits aux portes de Lille. Mais on s'y préoccupe en même temps des conséquences économiques qu'entraînerait une organisation semblable au point de vue du travail effectué dans un temps donné et avec un outillage déterminé.

Ce résumé succinct ne nous permet pas de citer tous les exemples que peut nous fournir l'industrie française. Rappelons-nous cependant que les ateliers du chemin de fer de Saint-Germain, de Graffenstaden, du Creusot, de Hayange et Styring, etc., etc., sont depuis longtemps entrés dans la voie de l'instruction élémentaire.

En passant en revue les conditions sous lesquelles l'apprentissage fonctionne aujourd'hui, nous nous sommes demandé s'il y aurait des avantages et pour les maîtres et pour les apprentis, au point de vue moral surtout, à séparer complétement les apprentis des ouvriers adultes. L'un de nous a cité, comme exemple des bons résultats qu'on peut retirer de cette division, même sous le rapport des produits industriels, les faits qui se passent journellement sous ses yeux. Dans l'établissement qu'il dirige, on a créé deux ateliers d'apprentis complétement séparés du reste de la fabrique, sous la direction de deux chefs qui en surveillent le travail. Contre toute attente, les produits qui sortent de ces ateliers sont tels, que non-seulement ils en couvrent les frais, mais donnent même un bénéfice dont les directeurs d'apprentissage ont une large part. Les apprentis, après trois années passées dans cette école pratique, sont en mesure de prétendre au salaire attribué à un bon ouvrier.

D'autres membres, au contraire, ont pensé que le cas précédent était applicable à une situation particulière, exceptionnelle, et qu'il valait mieux rapprocher les enfants des ouvriers faits. La réunion, en un local distinct, de tous les apprentis ne saurait être

toujours admissible, ceux-ci présentant des différences d'âge, de caractère et d'habitudes dont la morale pourrait avoir à souffrir.

Le problème dont nous ne faisons qu'effleurer les données est, comme on le voit, hérissé de difficultés, et sa solution soumise à des questions délicates parmi lesquelles il suffit d'indiquer les suivantes : Jusqu'à quel point, en obligeant les enfants à partager leur journée entre l'étude et le travail, pourrait-on astreindre les parents à prolonger le temps pendant lequel leurs enfants ne recevraient qu'une partie de la rétribution actuelle? quelles seraient les dépenses de l'enseignement? etc. Et si maintenant nous passons à la question de l'enseignement en lui-même, la solution est soumise à plus d'incertitude encore. Quelle sera la nature de l'enseignement? dans quelle mesure sera-t-il appliqué aux enfants? les adultes seront-ils appelés à y participer? etc.

Vous n'attendez pas de nous, Messieurs, que nous répondions à toutes ces questions. Votre commission a reconnu néanmoins que si, en France, l'esprit public n'est malheureusement pas encore disposé à nous voir imiter l'Allemagne sous ce rapport, en décrétant l'enseignement obligatoire, la situation serait améliorée si les enfants, entrant en apprentissage après avoir fait leur première communion, étaient astreints à suivre les cours d'instruction élémentaire jusqu'à 14 ou 15 ans, et à prolonger ainsi de 2 ou 3 années le temps de l'étude.

En ce qui concerne l'instruction à donner aux ouvriers adultes, l'expérience acquise tendrait à démontrer que ces derniers ne paraissent pas disposés à en tirer autant de fruits qu'on le croirait au premier abord, et que tous les efforts portés sur l'instruction des jeunes gens présentent plus de chance de réussite. Dans cet ordre d'idées, il est intéressant d'examiner les faits acquis aujourd'hui.

Comme tentatives faites dans la voie de l'association de l'étude et du travail appliquée aux enfants, nous pouvons vous citer deux exemples.

A Nantes, quelques hommes importants se sont réunis pour substituer leur initiative à l'action des parents qui ne peuvent se charger de diriger convenablement leurs enfants. L'institution prend ces derniers en pension. De 6 à 9 heures du matin ils assistent à des leçons de lecture, d'écriture et de calcul. A 9 heures ils se rendent chez un patron, choisi, par les fondateurs de l'institution, parmi les plus honorables, et qui enseigne son métier aux apprentis. Des gratifications judicieusement distribuées excitent l'émulation entre les enfants qui, au bout de quelques années, peuvent exercer l'état qu'ils ont adopté.

L'établissement de Saint-Nicolas, à Paris, contient 1200 enfants qui, moyennant une rétribution de 360 fr. par an, sont habillés, entretenus, instruits par les Frères de la doctrine chrétienne et exercés, quand ils ont atteint un certain âge et un degré d'instruction suffisant, à l'apprentissage d'un métier. Les fondateurs de l'établissement ont eu l'heureuse idée d'y annexer des ateliers de coffretiers-emballeurs, cordonniers, bijoutiers, sculpteurs en bois, miroitiers-doreurs, monteurs en bronze, etc.

Les enfants suivent pendant 3 heures les cours d'instruction primaire, puis tout le reste de la journée, au nombre de 100 à 120 et à raison de 12 par atelier, ils sont remis, sous la surveillance des Frères, entre les mains de patrons-entrepreneurs qui les exercent dans les travaux de leur métier. L'adjonction d'un ou de deux ouvriers expérimentés permet à chaque entrepreneur d'obtenir des produits achevés dont il tire un excellent parti, et de payer les élèves à partir de la troisième année d'apprentissage.

L'apprentissage industriel pourrait donc revêtir l'une ou l'autre des deux formes que nous venons d'esquisser.

Mais, dit-on, une semblable organisation ne peut-elle pas porter atteinte à l'industrie privée, si, généralisée, elle crée une concurrence réelle au travail des adultes?

L'objection n'est pas sérieuse. — Ne l'avons-nous pas entendu faire contre le travail des grandes manufactures et la substitution des machines à la main-de l'homme?

Les enfants ainsi formés deviennent, au bout de trois ou quatre ans au plus, de bons ouvriers, parfaitement au courant de leur état, en possession d'une excellente instruction primaire et d'une éducation morale dont l'influence doit les préserver des entraînements auxquels les ouvriers sont malheureusement exposés.

En présence des résultats acquis par ces deux types d'organisation, auquel des deux accorderait-on la préférence? Si l'école nantaise, d'un côté, avec son patronage élevé, doit offrir plus d'attraits aux parents désireux de procurer avant tout à leurs enfants un état immédiatement lucratif, et cela, sans charges pécuniaires ni responsabilité, de l'autre, la société serait en droit de compter sur une génération ouvrière élevée sous l'égide des principes de saine moralité qu'elle peut puiser dans une institution analogue à celle de Saint-Nicolas.

Enfin, Messieurs, faisant abstraction de toute discussion sur le choix de tel ou tel mode d'éducation professionnelle, si nous passons à l'étude d'un programme d'enseignement applicable aux divers âges des personnes attachées aux professions manuelles, l'embarras n'est pas moindre.

Mais si nous voulons resserrer notre étude dans des limites qui nous permettent de rendre la question immédiatement abordable par son côté pratique, la solution nous paraît assez clairement indiquée.

Pour être réellement utile, intéressant, l'enseignement ne doit pas embrasser un cercle trop varié et trop étendu d'éléments scientifiques. En dehors des principes de lecture, d'écriture et de calcul indispensables à tout être doué de raison, un bon ouvrier aurait besoin de posséder quelques notions fondamentales de l'art qu'il exerce. Guidé par la science mise à la portée de ses connaissances rudimentaires, il pourrait lutter avec succès contre les idées bizarres qui germent malheureusement trop souvent dans quelques têtes faibles à la recherche de chimères telles que freins instantanés, multiplication de la force, etc. — C'est ici que le rôle de l'ingénieur peut intervenir d'une manière efficace. En contact immédiat et constant avec les travailleurs, l'ingénieur sait chaque jour ce qui manque à ses auxiliaires pour comprendre sa pensée, pour exécuter ponctuellement ses ordres. Combien sa tâche deviendrait légère, si son entourage comprenait seulement le dessin! Que de peines et de temps épargnés pour lui, si ses contre-maîtres et ses ouvriers, familiarisés avec la méthode des projections et des coupes, n'avaient recours à ses lumières que dans les circonstances importantes ou les cas imprévus, lui permettant alors de concentrer toute son attention, tous ses soins sur les diverses améliorations techniques ou administratives dont toute industrie est susceptible!

Poser ainsi la question devant vous, Messieurs, c'est la résoudre. Votre commission a été unanime dans cette conclusion. L'étude attentive de la situation démontre qu'il y a pour tous un immense intérêt à propager dans toutes les classes de la société l'instruction élémentaire, et, pour l'ingénieur en particulier, une influence morale considérable à conquérir, en même temps qu'un bénéfice certain à réaliser, pour l'établissement auquel il est attaché, en enseignant autour de lui les notions fondamentales se rapportant à la technologie spéciale de l'industrie qu'il exerce.

Mais, par quels moyens?

C'est ici que la Société des ingénieurs civils nous paraît, avec ses ramifications

étendues, pouvoir devenir un auxiliaire utile dans la recherche de la solution, et rendre par là un important service au pays. Si, comme nous n'en doutons pas, elle doit compter sur le bienveillant concours de tous ses membres, il y aurait opportunité pour nous à procéder par voie d'information à l'étude de la question.

Permettez-nous donc, Messieurs, pour remplir la mission que le Comité nous a confiée, de nous borner, quant à présent, à vous proposer l'examen du programme suivant qui pourrait être adressé sous forme de questionnaire à chacun de nos collègues :

1° Sous quelle forme la question de l'enseignement professionnel a-t-elle été réalisée dans votre localité?

2° En dehors des écoles primaires, l'enseignement secondaire à la portée des ouvriers est-il organisé? — Dans l'affirmative, quel est le personnel qui en profite? Dans quelle mesure?

3° Mêmes questions en ce qui touche l'enseignement professionnel.

4° Sur quelles bases l'apprentissage fonctionne-t-il?

5° N'y aurait-il pas convenance et possibilité de prendre des dispositions pour enseigner aux enfants déjà engagés dans les professions industrielles et sachant lire et écrire, quelques notions élémentaires de dessin, d'arithmétique et de géométrie?

6° Pourrait-on établir pour les adultes des conférences suivies sur la technologie de leur métier, soit dans les usines mêmes, soit au dehors? N'obtiendrait-on pas de bons résultats en faisant précéder ces conférences de quelques leçons de dessin élémentaire, mettant les ouvriers en mesure de tracer, à défaut de notes souvent impossibles, toujours difficiles à prendre, des croquis suffisants pour fixer dans leur mémoire les points saillants des renseignements développés dans les conférences?

7° L'enseignement ainsi organisé permettrait-il de recruter, parmi les élèves les plus assidus et les plus intelligents, des sujets aptes à suivre avec fruit les cours des Écoles d'arts et métiers qui ont déjà rendu tant de services à l'industrie, et qui en rendraient bien plus encore si un certain nombre de places y était réservé aux apprentis les plus méritants ou les mieux doués?

8° Dans quelle mesure pourrait-on propager dans les campagnes l'apprentissage des différentes industries domestiques qui peuvent s'exercer en même temps que le travail de la terre?

9° Enfin dans quelle mesure seriez-vous disposé à prêter votre concours à l'étude et à l'organisation de l'enseignement professionnel sur les bases qui précèdent ou suivant tout autre système?

Ces renseignements permettront ultérieurement à la Société de discuter plus utilement la question sous ses divers aspects.

Un membre propose d'insérer cette note *in extenso* dans le procès-verbal de la séance, et d'inviter, par une circulaire spéciale, les membres de la Société à répondre aux questions posées.

M. Tresca pense qu'avant d'envoyer la circulaire il conviendrait de discuter le rapport, et particulièrement le questionnaire. Cet avis est adopté, et la discussion renvoyée à une prochaine séance.

M. Nozo donne ensuite lecture par extraits du travail de M. Brüll sur les expériences faites sur les nouveaux types de machines à marchandises du chemin de fer du Nord et sur les résultats obtenus.

Ce travail, qui sera inséré *in extenso* dans le premier bulletin trimestriel, comprend

d'abord une description critique des locomotives de fortes rampes et des machines à 4 cylindres à 6 essieux moteurs. Il donne ensuite les résultats constatés en service courant sur ces deux types de machines, leur parcours, la charge qu'elles remorquent, la vitesse, la consommation en combustible et graissage.

Comparant ces résultats à ceux que donnent, dans le service journalier, les petites machines à marchandises à tender isolé, qui étaient seules en exercice sur le chemin de fer du Nord il y a une dizaine d'années, M. Brüll montre que le prix de revient de la traction des marchandises, par tonne kilométrique, s'est abaissé de près de 40 pour 100.

Le mémoire rapporte ensuite le premier essai auquel ces machines ont été soumises sur le rampe de Chauny à Saint-Gobain, l'application du système Beugniot à une des machines à 6 essieux moteurs, et le second essai sur cette même rampe avec circulation dans la courbe de 80 mètres de rayon des usines de Saint-Gobain. Il examine le degré d'utilité que présentent, pour le franchissement des courbes, les divers systèmes de translation, et en particulier celui de M. Beugniot. De ces diverses expériences, il résulte que ces nouvelles machines sont éminemment propres au service des fortes rampes et des courbes.

M. Brüll expose ensuite à titre de rapprochement les résultats de service obtenus sur nos principaux chemins de fer de France, et aussi sur quelques chemins étrangers, pour la traction des marchandises sur les lignes accidentées. Pour chaque chemin examiné, le mémoire donne la description du profil, celle des machines employées, et l'indication de la charge normale remorquée, et de la vitesse de marche des trains.

Bien que la comparaison directe ne soit pas abordée, à cause des conditions très-variables de l'exploitation de ces diverses lignes, il résulte cependant de tous les faits rapportés, que les nouvelles machines pourraient, dans plus d'un cas, donner des résultats meilleurs que ceux que l'on obtient actuellement.

La conclusion fait ressortir les avantages réalisés par la création de ces nouveaux types, et montre tout le parti qu'on pourrait tirer aujourd'hui, pour la traction des marchandises sur des chemins à fortes rampes, d'un moyen d'augmenter le coefficient d'adhérence des roues sur le rail.

MM. Comte, Crépin, Dujour, Fernique, Herpin, Juteau, Henri-Lepaute, Mary, Roseau, Touron, Boucard, Ameline, Caisso, de Griéges, Songaylo, Turck, Berger, Boudent, Gauthey, Vérité, Cail, Febvre, Mesnard, Moreaux, Poupard et Villermé, ont été reçus membres-sociétaires.

Séance du 15 Avril 1864.

Présidence de M. Petiet.

M. Goschler présente l'analyse d'un mémoire de M. Rubin, membre de la Société, sur la fabrication et la réception des rails.

M. Rubin, traitant d'abord du choix du type, donne la préférence au rail à patin.

dit rail Vignole. Il conseille de choisir un profil trapu, afin de faciliter le raccordement de l'âme avec le champignon; la longueur de 6 mètres lui paraît une limite imposée par la nécessité de manœuvrer commodément les rails.

M. Rubin conseille de prescrire aux usines les conditions de la fabrication des rails, mais en tenant compte, dans la rédaction de ces spécifications, des conditions spéciales de l'usine à laquelle elles sont destinées.

Le mémoire discute ensuite la composition des paquets de soudage, et conseille l'emploi d'une couverte en fer à grain fin, de fer corroyé nerveux au patin, et de qualités intermédiaires dans le corps de la barre.

La troisième partie traite en détail de la fabrication, et demande pour les contrôleurs une grande part d'influence dans les usines.

Quant aux essais, M. Rubin recommande aux agents chargés de la réception de les varier et de les rendre comparatifs. Il indique divers modes d'essais, à la presse, au marteau et au martinet.

M. Vuillemin présente ensuite l'analyse d'un mémoire de M. Desgrange, membre de la Société, directeur du matériel et de la traction du réseau sud de l'Autriche. Ce travail traite de l'exploitation du Semmering; il fait suite à diverses notes du même auteur publiées dans le Bulletin, et sera lui-même inséré *in extenso* dans l'un des prochains numéros.

M. Vuillemin rappelle les conditions d'établissement du passage des Alpes noriques entre Payerbach et Muerzuschlag, par le Semmering; la section a 41 kilomètres de longueur; elle présente des rampes de 25^{mm} par mètre et des courbes de 190^{m} de rayon.

M. Engerth, à la suite du concours institué pour l'exploitation de ce chemin, construisit une machine à trois essieux couplés, articulée avec un tender à deux essieux couplés, dans laquelle les deux groupes d'essieux étaient réunis par un jeu d'engrenages. Cette machine aurait remorqué environ 200 tonnes de poids utile; mais les engrenages ayant donné lieu à de grandes difficultés d'emploi furent supprimés et la machine resta, au point de vue de l'adhérence, une machine à trois essieux couplés, mais conserva la complication, le poids énorme et la répartition inégale qu'avait entraînés le système adopté. Elle ne put traîner que 117 tonnes de charge.

M. Desgrange, frappé des mauvais résultats de service que donnaient ces machines, les transforma en machines à quatre essieux accouplés à tender isolé. La machine nouvelle traîne 150 tonnes, et les trains qu'on séparait en trois parties au pied de la rampe ne sont plus aujourd'hui séparés qu'en deux parties.

En 1860, avant la modification, la traction par kilomètre de train sur le Semmering coûtait. . . . . 2 fr. 85 c.
En 1861, avec six machines modifiées, elle ne coûte que . . . 2 40
En 1862, avec un plus grand nombre. 2 29
Et 1863, avec toutes les machines modifiées, ce chiffre s'est abaissé à 2 155

Et si l'on tient compte de l'augmentation du tonnage de train, il ressort, en faveur de 1863, une économie de près de 50 p. 100 sur 1860.

La répartition plus égale des nouvelles machines est favorable à la conservation des rails; aussi les frais d'entretien de la voie ont-ils diminué à la suite de la modification. Dans une seconde partie de son mémoire, M. Desgrange discute l'opportunité de l'application au Semmering ou aux chemins à tracé accidenté de machines plus puissantes que celles actuellement en service. Son opinion est qu'il n'y aurait pas

intérêt à employer un moteur plus puissant; la limite de solidité des attelages des wagons serait, d'après lui, un obstacle à la production d'efforts de traction notablement supérieurs à celui que donne la machine à quatre essieux accouplés de 48 à 50^{t} d'adhérence.

Passant en revue les diverses solutions proposées pour le franchissement par locomotives des rampes très-inclinées et des courbes prononcées, M. Desgrange écarte successivement la machine Engerth à cinq essieux couplés, la machine proposée par M. Rarchaert, la machine à deux trains articulés, ayant chacun deux cylindres et deux essieux accouplés, qui a été présentée au concours du Semmering, et aussi le système de deux machines placées l'une à l'avant du train, l'autre à l'arrière.

C'est au système Meyer que M. Desgrange serait tenté de donner la préférence dans un cas où l'on aurait besoin d'un moteur très-puissant. La machine à quatre cylindres de M. Petiet est établie dans de très-bonnes conditions, mais l'empatement de 6 mètres et le parallélisme des essieux s'opposeraient à l'emploi de ce type de machine dans des courbes d'un rayon inférieur à 300^{m}.

En résumé, M. Desgrange se félicite de ce que le tracé du Semmering ne nécessite l'emploi d'aucun de ces systèmes; les machines à quatre essieux y donnent de bons résultats économiques, et l'introduction d'un type plus compliqué ramènerait les prix de revient élevés dont il a pu s'affranchir.

M. Vuillemin, tout en reconnaissant que l'auteur du mémoire a su, par une heureuse modification, tirer le meilleur parti de la situation, et en l'approuvant de n'avoir pas songé à mettre au rebut ou à reconstruire presque entièrement un matériel existant d'une valeur aussi importante, ne partage pas les idées de M. Desgrange sur l'emploi d'autres systèmes de machines sur les chemins de montagne, et considère en particulier, comme remarquable, le progrès réalisé par M. Petiet et les ingénieurs du Nord par la création de la puissante machine à quatre cylindres et à six essieux couplés.

M. le président fait observer que l'expérience a montré que l'emploi de deux machines, une en tête du train, l'autre en queue, n'avait pas les inconvénients que M. Desgrange paraît redouter. La Compagnie de Lyon emploie ce procédé sur les rampes de 8^{mm}. Sur la ligne de Gênes à Turin, les deux machines accouplées dos à dos sont placées à l'arrière du train.

M. Forquenot dit qu'au chemin de Lyon, c'est la plus faible des deux machines qui est à l'arrière, de sorte qu'il n'y a rien à craindre des efforts latéraux qui peuvent se développer dans les courbes.

M. Goschler apporte l'exemple du chemin de Mons à Haumont, où l'on applique le même mode de remorquage des trains lourdement chargés sur les rampes.

M. le président cite encore le chemin de Givet, où, sur des rampes de 20 millim., on ajoute une machine en queue du train.

M. Lacombe dit que cette machine pousse le train sans y être attelée. Ce sont les ingénieurs du contrôle qui ont recommandé ce moyen.

M. le président remercie M. Desgrange de sa communication, et M. Vuillemin de l'analyse qu'il en a présentée.

M. Félix Mathias présente le résumé d'un mémoire de M. Vinchent, membre de la Société, ingénieur en chef des lignes télégraphiques de l'état belge. Ce mémoire, concerne le service des télégraphes en Belgique, les conditions de leur établissement et leurs rapports avec l'exploitation des chemins de fer.

Le travail de M. Vinchent fournit aux hommes spéciaux des indications et des appréciations précieuses, et à cet égard l'impression *in extenso* du mémoire est fort désirable. Chargé par le comité d'en faire un résumé succinct, M. Mathias passe rapidement en revue les diverses questions abordées par M. Vinchent.

Au 1er janvier 1864, la longueur totale des lignes télégraphiques du gouvernement belge était de 2,647 kilomètres. Le nombre des fils conducteurs fonctionnant sur chaque ligne varie de 1 à 15. Le développement des fils s'élève à 6,238 kilomètres.

Le nombre des bureaux ouverts est de 252. Il n'y a que cinq Etats européens qui possèdent un plus grand nombre de bureaux, ce sont : l'Angleterre, la France, la Prusse, l'Italie et l'Autriche.

L'appareil du système Morse fonctionne dans 97 bureaux. Dans les autres, on trouve les appareils à cadran et à lettres de Siemens, Lippens et Bréguet.

L'État a dépensé, au 1er janvier 1864, pour l'établissement de son service télégraphique, une somme de 1,251,418 fr., qui se répartit ainsi :

Poteaux et fils.....	857,046f
Appareils et accessoires.....	394,372

D'après les calculs de M. Vinchent, une ligne à un fil ressortirait à 182 fr. par kilomètre, et l'addition de tout fil représenterait une dépense supplémentaire de 91 fr. par kilomètre.

Quant au matériel de transmission, la dépense moyenne a été de 980 fr. par appareil complet, et le prix de revient de l'établissement d'un poste ressort à 2,292 fr.

Les fils conducteurs sont exclusivement en fer galvanisé au zinc. Le diamètre de 3 millimètres est généralement adopté. En 1862, les 100 kilog. de fil de 3 millim. ont été adjugés à 52 fr., et en 1863 à 50 fr.

La soudure des fils se fait à l'étain. M. Vinchent établit une comparaison entre les procédés de soudure suivis en France et en Belgique.

Pour les traversées souterraines, on emploie des fils de cuivre de 1 1/2 à 2 millim., recouverts d'une double couche de gutta-percha aussi pure que possible, et renfermés dans des tuyaux en fonte pour les protéger contre l'atteinte des outils, etc. — Ces tuyaux doivent pouvoir s'ouvrir à tout endroit. On emploie, en général, des pièces d'un mètre de long coulées sous forme d'auges et recouverts de plaques de 4 à 5 millim. d'épaisseur. Des tuyaux de cinq centimètres de diamètre peuvent contenir 20 fils. On évalue qu'une ligne souterraine de dix fils coûte huit fois plus cher qu'une ligne sur poteaux ayant le même nombre de fils.

Les poteaux sont en sapin, injectés de sulfate de cuivre par le procédé Boucherie. Leur durée moyenne est de 15 ans. Les poteaux en sapin non préparés ne résistent guère plus de 5 ans.

Le mètre cube de sapin préparé ressort à 64 fr. 35 c., et comme en général huit poteaux représentent un mètre cube, le prix de revient du poteau préparé est de 8 fr. Les frais de transport, de fouille, de plantation, etc., représentent en moyenne une dépense supplémentaire de 2 fr. par poteau.

Tous les supports isolants des lignes télégraphiques belges sont en porcelaine vernissée blanche; il paraît que la supériorité de cette matière sur le verre et les terres cuites n'est plus contestée. M. Vinchent entre dans de longs détails sur le choix et le mode de fixation des supports, cloches, tendeurs, etc., et donne des dessins des modèles adoptés.

Les dernières lignes télégraphiques établies en Belgique ont en moyenne 12 poteaux par kilomètre, qui coûtent 94 fr.; un fil de 3 millim. pèse environ 60 kilog. par kilomètre, et revient à 34 fr. 20 c. Les accessoires, isolateurs, tendeurs, etc., se payent 14 fr. par kilomètre. La main-d'œuvre que réclame le placement d'un kilomètre de fil avec ses accessoires est de 6 fr.

M. Vinchent entre dans une discussion fort étendue sur les avantages et les inconvénients des divers appareils de transmission, et n'hésite pas à se prononcer en faveur de l'appareil Morse pour les grands bureaux de l'État. Cette manière de voir est, du reste, partagée par tous les gouvernements qui, dans l'Europe entière, ont donné la préférence à l'appareil écrivant de Morse. La Société se rappelle à cet égard que M. Morse, l'inventeur américain, a obtenu une assez large indemnité que les divers États, grands et petits, ont payée en commun. Quant aux appareils à lettres que tous les chemins de fer ont préférés, M. Vinchent reconnaît qu'ils ont l'avantage de ne point exiger une longue pratique préparatoire; mais il les trouve inférieurs à tous égards en ce qui concerne la rapidité et la sûreté de transmission.

M. Vinchent a fait dans son mémoire une étude très-approfondie des dispositions des divers appareils télégraphiques en usage, qui ne saurait être résumée utilement par une analyse rapide.

En résumé, M. Vinchent, comme membre de la Société, vient d'enrichir nos bulletins d'un travail sérieux, portant le cachet de l'homme pratique qui, placé à la tête d'un service très-important, depuis environ quinze ans, a sur toutes les questions de sa spécialité une opinion nette dont il a bien voulu nous faire profiter.

M. LE PRÉSIDENT adresse des remercîments à MM. Vinchent et Mathias.

M. RICHOUX dépose des modèles et des fragments de croisements en fonte Gruson. Il rappelle que la fonte trempée en coquille a été employée dès l'origine des chemins de fer à la construction des roues et des croisements; mais qu'on n'a pas tardé à y renoncer et à lui substituer le fer et l'acier. Cette substitution, faite d'une manière générale, paraît due à plusieurs causes telles que : l'accroissement de vitesse des trains, l'augmentation du poids des véhicules, la difficulté de couler et de tremper les pièces de fortes dimensions sans retraits inégaux, c'est-à-dire sans tensions initiales, et enfin l'abaissement du prix des fers.

Vouloir substituer aujourd'hui la fonte au fer pour les croisements paraît donc une tentative condamnée par l'expérience ancienne et un pas fait en arrière. Cependant, il n'en est pas ainsi, et les croisements fournis par M. Gruson, établi à Magdebourg, montrent que pour certaines applications la fonte peut rivaliser avec l'acier fondu.

Il résulte des renseignements communiqués par M. Tardieu, membre de la Société, qu'un croisement en fonte Gruson posé dans la gare de Sarrebruck, sur la voie principale et sur la voie au coke depuis quatre ans, ne laisse apparaître aucune trace d'usure. Un croisement semblable, posé depuis trois ans dans la même gare, n'a présenté qu'une légère épauffrure à l'extrémité de la pointe. Un croisement, placé à Kehl depuis quatre ans sur la voie principale et sur la voie de dépôt, est encore en parfait état de conservation.

Les plus anciens croisements en acier fondu posés en France ont à peine cette durée, et présentent une altération sensible.

M. Gruson peut fournir les croisements à 0f,45, à 0f,50 le kilog., tandis que les croisements en acier fondu coûtent 1 fr. 30 c. le kilog. Il n'est pas douteux que le prix des croisements en fonte fabriqués en France ne puisse descendre à 0f,35, et

déjà des constructeurs ont fourni à ce prix. Reste à savoir si leurs produits sont égaux comme qualité à ceux de M. Gruson.

M. Lechesf confirme les bons résultats constatés dans le service de plusieurs croisements en fonte Gruson posés à Kehl et dans quelques autres stations allemandes; mais il ne pense pas que la Compagnie de l'Est ait fait aucun traité avec le fabricant; elle a, au contraire, refusé de rien engager avant que cette fabrication fût importée en France. Le produit allemand paye en effet des droits d'importation élevés, et il est désirable que l'on obtienne la fonte durcie avec quelqu'une de nos fontes françaises, si cela est possible. Les croisements essayés par la Compagnie de l'Est ne sont pas en fonte Gruson; ce sont des produits présentés par diverses usines françaises.

M. Arson rappelle qu'après l'exposition de 1862, il a présenté à la Société un échantillon de fonte durcie, rapporté d'Angleterre, et provenant de l'usine Ramson et Sims, à Spswich. Cet échantillon ressemblait à ceux qu'apporte M. Richoux.

M. Richoux fait observer que la trempe a produit sur cet échantillon, ainsi qu'on l'observe généralement, une couche de fonte blanche nettement définie, tandis que dans l'échantillon de M. Gruson le passage de la fonte blanchie à la fonte grise est tellement fondu qu'on ne peut définir le point de passage. Il signale en outre de cet aspect caractéristique la résistance particulière de cette fonte, qui peut supporter avant de rompre de 45 à 50 kilog. par millimètre carré, et prendre pour des barres de 26 millim. sur 26 millimètres, et une distance d'appuis de 0m,99, une flèche de 26,5 millim. avant la rupture.

Il fait remarquer qu'on ne connaît pas les procédés de fabrication de M. Gruson, mais qu'on peut admettre :

1° Que la résistance est obtenue par l'emploi de minerais d'hématite, exempts de soufre et de phosphore; par l'emploi exclusif du charbon de bois dans le traitement de ces minerais;

2° Que la faculté de prendre la trempe semble tenir à l'homogénéité parfaite de la matière et à son degré de carburation, que l'homogénéité paraît devoir résulter de l'emploi d'une certaine quantité de fluorure de calcium, en remplacement d'une partie de la castine, employée pour fondant; on sait en effet que le spath fluor a la propriété de rendre les laitiers plus fluides, de faciliter leur séparation de la fonte, d'éliminer le silicium, etc.;

3° Qu'enfin les résultats de la trempe de M. Gruson semblent dus à une étude spéciale des formes des pièces, des dimensions des coquilles, et aussi à de certains tours de main.

M. Goschler dit que les procédés de durcissement de la fonte sont connus depuis longtemps. Il suffit de couler dans une coquille assez épaisse pour amener un refroidissement brusque; il a eu récemment occasion de faire dans ce sens quelques essais qui ont bien réussi. Il cite l'emploi de la fonte en coquille pour les roues de wagons. Il y a en Allemagne une masse de roues de wagons et de machines en fonte; celles de Gans à Ofen sont les plus renommées.

M. Lecombe rapporte qu'en Belgique on emploie beaucoup de croisements en fonte dans les voies de garage. Il rapproche, de ce qui a été dit des croisements en fonte, les résultats obtenus avec les croisements en acier coulé; il pense que le procédé Bessemer donne des aciers économiques dont l'emploi sera préféré à celui de la fonte. Il cite l'exemple de deux plaques tournantes coulées en un seul morceau d'acier, et qui existent dans la gare de Rethel.

M. Gaget demande si les essais rapportés par M. Richoux ont eu une durée suffisante pour affirmer le mérite de la fabrication dont il s'agit.

M. Lecherf dit que les résultats obtenus à Kehl sont concluants sous ce rapport, mais il reste à introduire cette industrie en France. Il sait que M. Gruson se fait fort d'obtenir en Franco le même produit qu'il fabrique à Magdebourg. L'avenir seul pourra décider cette question.

M. Vuillemin dit qu'il se produit en ce moment en Allemagne une réaction contre l'emploi de la fonte à cet usage.

M. Richoux ne pense pas que l'on ait encore réussi à couler de grosses pièces suffisamment saines en métal Bessemer. Il croit que l'acier coulé s'égrène à la surface, qu'il présente des bulles, et qu'enfin la fabrication des croisements en acier coulé est loin d'être aussi avancée que celle des croisements en fonte Gruson.

L'ordre du jour appelle la discussion sur l'enseignement professionnel.

M. le Président donne lecture du questionnaire proposé par la commission dans la séance du 1er avril.

Un membre fait remarquer que si, d'une part, beaucoup de membres de la Société peuvent (ainsi que beaucoup d'autres personnes) concourir très-utilement à répandre l'instruction professionnelle, d'autre part les leçons spéciales à l'enseignement dont il s'agit ne peuvent guère être données qu'à des auditeurs (apprentis, ouvriers ou autres) sachant au moins lire et écrire.

Or, sous ce rapport, il reste beaucoup à faire :

Il existe une très-bonne loi qui oblige les maîtres d'apprentissage, du moins dans certaines limites, à envoyer à l'école ceux de leurs apprentis qui ne savent pas lire, écrire et calculer, et à réduire, en conséquence, la durée du travail quotidien imposé à ces jeunes gens. Malheureusement cette loi est très-peu appliquée, si peu, qu'elle est à peine connue, ce qui est doublement regrettable, car la parfaite mise en vigueur de ces sages dispositions législatives serait un grand pas vers l'instruction primaire obligatoire pour tous, progrès d'une haute portée.

Pour faire appliquer comme il conviendrait la loi qui vient d'être citée, le gouvernement a besoin d'être aidé; c'est aux sociétés et aux particuliers dévoués à cette grande cause qu'il appartient de remplir une telle mission, et de prendre l'initiative à cet égard. Ce membre pense que des sociétés locales créées spécialement dans ce but auraient parfaitement leur raison d'être, tout au moins autant que diverses autres sociétés *protectrices*, très-utiles d'ailleurs autant qu'estimées, qui ont été fondées, spécialement ou principalement, dans le but de prévenir l'abrutissement partiel de certaines classes de l'espèce humaine, de relever le niveau de la moralité publique, de faciliter et d'étendre, par leur bienfaisante intervention, l'application de certaines lois destinées à protéger les hommes ou les animaux.

Il y aurait donc peut-être lieu, tôt ou tard, de demander aux membres de la Société leurs réponses à une question supplémentaire qui pourrait être rédigée à peu près en ces termes :

En vertu de la loi du 3 *mars* 1851, *notamment de l'article* 10 *de cette loi, les maîtres d'apprentissage doivent faire apprendre à lire, à écrire et à calculer à ceux de leurs apprentis qui ne possèdent pas cette première instruction, à moins que ceux-ci n'aient plus de seize ans. Le plus souvent cette obligation n'est pas remplie. Qu'y aurait-il à faire pour en généraliser l'accomplissement ?*

Malgré les observations qui précèdent, il est juste de reconnaître que si le nombre

des individus complétement illettrés est encore très-grand, néanmoins la plupart des institutions populaires existantes, ainsi que la plupart des nouveaux cours qui pourront être ouverts à court délai pour l'enseignement professionnel, seront, pendant quelque temps encore, à peine en rapport avec le nombre des travailleurs aptes à y recevoir fructueusement des leçons. Mais cet état de choses est essentiellement provisoire.

M. Tresca pense que malgré tout l'intérêt de la question qui vient d'être soulevée, il n'y a pas lieu de l'introduire dans le questionnaire. L'examen de cette question pourrait faire sortir la Société du rôle auquel elle doit se borner. Nous appartient-il bien de discuter s'il y aurait lieu de demander l'introduction de nouvelles mesures législatives, ou si l'application plus rigoureuse des lois existantes suffit pour atteindre le but proposé. Ne devons-nous pas plutôt nous borner, en cette occasion, à notre simple rôle d'ingénieurs dans lequel nous pouvons être immédiatement utiles par le concours que nous apporterons au développement de l'enseignement technologique. En résumé, le point de vue qui vient d'être indiqué est des plus intéressants, mais il ne serait pas prudent de l'introduire dans notre questionnaire; mieux vaut réserver ce qui a été dit à ce sujet pour être joint à l'ensemble des documents que l'étude de la Société aura réunis.

L'auteur de la proposition se range à l'avis de M. Tresca.

M. le Président réclame l'intervention des membres de la Société qui voudront bien s'occuper de la question de l'enseignement professionnel. Ces membres seront, s'ils le désirent, adjoints à la commission élue au sein du comité.

M. Limet donne ensuite lecture de la traduction d'une note de M. Burnell, ingénieur anglais, à la Société royale des arts de Londres, sur l'organisation du corps des ponts et chaussées en France[1].

Sans se faire l'éditeur responsable des idées de M. Burnell, M. Limet a pensé intéressant de les communiquer à la Société comme appréciation anglaise des ingénieurs français et anglais.

MM. Cornaille, Daveluy, de Mazade, Morandière (Jules), Morandière (Émile), Pasquet-Chamier, Vinit, Boutté, Elwel, Durenne, Faucon, Jacquesson, Morel, Pierre, Rohart, Lacroze, Macé, Poulot, Sérafon, d'Hurcourt et Komarnicki, ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 6 Mai 1864.

Présidence de M. Salvetat, *vice-président.*

M. le Président annonce le décès de M. Boutin, membre de la Société, ancien élève de l'École centrale, sorti en 1844, répétiteur à cette école du cours de métallurgie, enfin directeur de plusieurs usines.

1. Cette note a été publiée dans le journal anglais *The Engineer* du 18 mars.

M. Boutin avait été l'un des fondateurs les plus zélés de la Société des ingénieurs civils en 1848. Les arts chimiques lui doivent plusieurs perfectionnements importants, et la mort est venue le frapper lorsque, jeune encore, il était le mieux préparé pour faire faire à l'industrie de nouveaux progrès dont il s'occupait avec distinction.

M. DALLOT présente l'analyse du *discours d'installation de M. McClean, président de la Société des ingénieurs civils de Londres.*

M. McClean a choisi pour principal thème un sujet de nature à attirer fortement l'attention des ingénieurs de tous les pays, bien qu'au premier abord l'intérêt en semble limité à un seul peuple. « Je me propose, dit-il en commençant, non d'exposer les progrès de notre art, si souvent décrits à cette même place, mais de faire ressortir l'influence extraordinaire que les travaux du génie civil ont exercée pendant les trente dernières années sur l'avancement matériel et intellectuel de la Grande-Bretagne. Je vais démontrer que l'étonnante prospérité, atteinte dans le cours de cette période, c'est principalement à nos chemins de fer que nous la devons. »

L'orateur combat le préjugé général qui attribue en grande partie cette prospérité aux perfectionnements de l'agriculture. Non, le sol n'est pour rien, ou presque rien, dans l'accroissement de la richesse de l'Angleterre; et, pour le prouver, M. McClean présente un tableau comparatif des divers éléments de cette richesse à deux époques caractéristiques. L'une est l'année 1815, la dernière où un relevé officiel du produit de l'*income-tax* fournit le moyen d'évaluer exactement le revenu de la Grande-Bretagne. En 1815, la machine à vapeur, au point où Watt l'avait amenée, les machines employées par l'industrie du tissage, les plus grandes découvertes industrielles, en un mot, à l'exception de la locomotive, étaient déjà en pleine opération. En 1856, d'autre part, toutes les grandes lignes du réseau des chemins de fer anglais étaient livrées à l'exploitation. C'est aussi l'année où l'*income-tax*, aboli depuis 1816, revient fournir des éléments précieux à la statistique. M. McClean a donc cru devoir la choisir pour son second terme de comparaison.

En 1815, toutes les formes de propriété foncière comprises sous les dénominations de *terres*, *fiefs*, *dîmes* et *redevances*, représentaient un revenu de 1,038,000,000 fr. En 1856, le revenu relatif aux mêmes chapitres, plus les *pêcheries*, s'était abaissé à 954,000,000 fr.

Le revenu de la *propriété bâtie*, au contraire, en en retranchant les habitations des fermiers, s'était élevé entre 1815 et 1856, de 406,500,000 fr. à 1,214,000,000 fr., c'est-à-dire que cette valeur avait triplé.

En 1815, les *carrières*, *mines*, *fonderies*, *forges*, etc., produisaient des bénéfices montant à 36,000,000 fr. En 1856, les sources analogues de bénéfices, sous les titres de *carrières*, *mines*, *fonderies* et *forges*, *canaux*, *chemins de fer*, *usines à gaz*, etc., produisaient 452,000,000 fr. Cette branche du revenu public s'était donc augmentée de plus de 1,200 p. 100.

Les gains des fermiers ne se sont accrus que de 62,000,000, à peine 12 p. 100. Le revenu des *fonds publics* s'est abaissé de près de 140,000,000 fr., sans doute par le fait de l'amortissement. Les émoluments des *fonctionnaires* et *employés de l'Etat* se sont accrus de 90,000,000 fr., environ 30 p. 100. Enfin, les bénéfices du *commerce* et des *professions libérales* ont augmenté de 1,109,000,000 fr., près de 150 p. 100.

Il résulte des données qui précèdent que pendant les quarante années sur lesquelles s'étend la comparaison, le chiffre de toutes les sources de revenu, aptes à payer l'impôt, s'est accru de 2,252,000,000 f.., c'est-à-dire de 60 p. 100. Il faut dire, en outre, que l'income-tax, depuis son rétablissement, n'atteint que les revenus ou bé-

néfices annuels au-dessus de £ 100, tandis qu'en 1845 le cens s'abaissait jusqu'à £ 50.

Quelles sont les causes de cet énorme accroissement de la fortune de la Grande-Bretagne? D'où sont sorties ces centaines de millions de livres sterling, placées dans les railways, les canaux, les mines, la métallurgie, la navigation, tant dans le *Royaume-Uni* que dans l'Inde et les autres colonies anglaises? M. McClean entreprend d'expliquer cette prospérité inouïe par le merveilleux mécanisme de l'institution des chemins de fer, considérée comme une machine à produire la richesse. Après l'ouverture de la ligne de Manchester à Liverpool, les capitaux anglais, qui, jusque-là, ne s'étaient que parcimonieusement associés aux entreprises de grands travaux publics, se précipitèrent sur les titres des compagnies. On en arriva à se figurer que le crédit était une mine inépuisable. Une spéculation effrénée amena des désastres, et la panique succéda à l'engouement. Néanmoins, l'élan était donné au système; depuis lors il ne cessa d'avancer d'un pas soutenu; et aujourd'hui les voies ferrées servent un intérêt rémunérateur à un capital de dix milliards de francs. Si cet immense capital a pu être réuni, c'est que les valeurs de chemins de fer, sur le principe de la responsabilité limitée, occupent la première place dans la confiance du public, qu'il les choisit de préférence pour placer ses économies ou ses bénéfices par suite de la facilité du transfert des titres et des convenances que les différentes classes de la société trouvent dans leur fractionnement. Les particuliers reçoivent ainsi un encouragement continuel à économiser une partie de leur revenu, non-seulement dans leur propre intérêt, mais pour le bien de leurs descendants. Les valeurs de chemins de fer sont donc une source de moralisation; et l'on peut dire qu'elles ont fait pour la transmission de la richesse d'une génération à l'autre, ce que l'imprimerie a fait pour la science.

M. McClean passe ensuite à l'énumération des richesses minérales de la Grande-Bretagne. La première de toutes, c'est la *houille*, dont 300,000 ouvriers extrayent annuellement cent millions de tonnes. Pour obtenir du règne végétal la même quantité de carbone, il faudrait, d'après les indications de Liebig, convertir en plantations une surface de terrain égale en étendue à l'Empire français.

La houille est la source de richesse par excellence, à condition que l'industrie des chemins de fer lui fournisse un emploi et des moyens de transport. Il y a donc un intérêt on ne peut plus sérieux à se demander si, comme quelques personnes le craignent, les mines qui fournissent une matière aussi précieuse sont destinées à s'épuiser un jour. M. McClean n'hésite pas à répondre que la génération actuelle n'a que faire de se préoccuper d'une pareille question.

Depuis la grande découverte de Murchison, on est raisonnablement certain de rencontrer la houille au-dessous des grès rouges inférieurs du terrain secondaire, ainsi que de la formation permienne, qui s'étend en Angleterre sur des millions d'acres; et quand la houille s'y trouve en effet, on est sûr de la rencontrer à de plus grandes profondeurs sous toutes les couches qui recouvrent cette formation, et qui occupent plus de la moitié de la surface de la Grande-Bretagne. Les mines sont donc pratiquement inépuisables, et ce n'est pas tant leur appauvrissement qu'il faut redouter que la difficulté de les exploiter lorsqu'elles atteindront une profondeur où l'influence de la *chaleur centrale* du globe doit opposer, *dit-on*, d'insurmontables obstacles.

Quelle est la valeur réelle et pratique de cette crainte? Il y a beaucoup à dire en faveur de la théorie de la *chaleur centrale*. Mais, tout en l'admettant, si l'on considère qu'une cloison relativement très-mince d'argile réfractaire entourant un haut four-

neau rempli de fer à l'état de fusion suffit pour qu'on puisse impunément placer la main sur la surface extérieure du massif en briques, comment comprendre que la chaleur intérieure de la terre puisse traverser la croûte solide dont l'épaisseur est évaluée à 56 kilomètres, de façon à exercer une influence sensible à la valeur comparativement si faible que les travaux des mines sont susceptibles d'atteindre? La température élevée qui règne dans quelques mines est due au défaut de ventilation. Des torrents de gaz à une haute pression s'échappent de la houille à mesure qu'on l'abat et échauffent les chantiers d'excavation. Mais rien de plus aisé avec de larges puits que de conduire de l'air frais à n'importe quelle profondeur, sans élever sa température, et de le faire circuler dans tout le réseau des galeries, écartant ainsi à la fois l'inconvénient d'une chaleur gênante et les dangers d'explosion. On n'a que l'embarras du choix pour les moyens propres à atteindre ce but. L'Angleterre ne doit donc pas s'alarmer. Elle peut et doit continuer à dépenser son combustible sans compter. Chaque jour, dit M. McClean, nous consommons une quantité de houille fournissant le travail, pendant dix heures, de douze millions de chevaux-vapeur, dont chacun ne nous coûte qu'*un penny* sur le carreau de la mine. Nous ne pourrions rien diminuer sur cette énorme consommation qu'en employant une force animale beaucoup plus chère. Il n'y faut pas penser.

En ce qui concerne le *fer*, M. McClean caractérise l'importance de cette branche d'industrie par un chiffre : en 1862, 562 hauts fourneaux ont produit 3,943,469 ton. de fonte. Dans cette même année, le fer et la houille ont donné lieu à une exportation de la valeur de 625,000,000 fr. Cette somme ne représente que le prix coûtant, et si l'on tient compte des bénéfices et des frais de transport, elle se trouve augmentée de moitié. Voilà les éléments de richesse qui ont permis à l'Angleterre de combler le gouffre ouvert dans le Lancashire par le manque de coton.

Un Anglais ne saurait oublier la *marine*. En 1861, 975 navires, représentant 200,839 tonneaux, ont été construits et enregistrés dans le *Royaume-Uni*. La moitié de ce tonnage se compose de navires en fer. Les constructions pour l'étranger et la marine de l'État n'entrent pas dans le chiffre qui précède. Les steamers à hélice, grâce aux perfectionnements de la mécanique qui leur ont permis d'atteindre une vitesse considérable et de la soutenir avec régularité, ont prolongé, on peut le dire, sur toute la surface du globe le réseau des chemins de fer anglais.

Je crois avoir suffisamment établi, ajoute M. McClean, que ce n'est pas à la terre, mais aux découvertes de nos grands ingénieurs, que nous sommes redevables du progrès de la fortune publique depuis 1815. Et cette richesse, comment a-t-elle été distribuée? Quel a été son emploi? Elle a servi à fournir du travail à des millions d'hommes qui auraient été sans cela un fardeau sur la terre, une source de misères et de troubles, et qui n'eussent échappé à la famine que par l'émigration en masse. Cette richesse a été également et équitablement répartie entre toutes les classes. Le haut et le bas de la société se sont rapprochés, non par la diminution de la fortune des riches, mais par la diminution de la misère des pauvres.

Le nouveau président termine son discours par quelques observations en faveur de la construction de chemins de fer dans l'intérieur de Londres et par des encouragements à ses jeunes confrères. Ne craignez pas, leur dit-il, que la matière manque à votre ardeur. L'extension des chemins de fer est indispensable au bien-être du monde entier, et c'est vous qui les construirez. Avec l'extension des chemins de fer, il faudra de nouveaux ports, de nouveaux docks, de nouveaux canaux, de nouveaux steamers, et bien d'autres travaux encore! L'orateur émet le vœu, en finissant, que le dévelop-

pement des impôts directs, permettant l'abolition complète des douanes, vienne supprimer tous les obstacles qui entravent les relations commerciales des différentes nations, et que l'on voie s'ouvrir enfin le règne du libre échange.

M. Dallot indique que M. McClean aborde incidemment dans son discours la question de l'isthme de Suez. Il n'a pas cru devoir reproduire cette digression, faite à un point de vue critique, sans la rapprocher du rapport de M. Hawkshaw, qui en contredit les principales affirmations. Ce sera l'objet d'une communication ultérieure.

M. le Président, après avoir remercié M. Dallot de sa communication, donne la parole à M. Coignet.

M. Coignet indique que, depuis dix ans qu'il poursuit ses travaux sur l'art de construire au moyen des bétons agglomérés, il a constamment trouvé dans la Société des ingénieurs civils des sympathies et des encouragements qui l'ont soutenu dans sa tâche; aussi à des époques à peu près régulières, a-t-il considéré comme un devoir de venir lui rendre compte des résultats qu'il obtenait.

Aujourd'hui il ne s'agit plus d'essais, mais de faits accomplis. Les bétons agglomérés ne sont qu'un simple mélange de beaucoup de sable et d'un peu de chaux, auquel on ajoute, suivant les cas, une minime quantité de ciment, $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{20}$ ou $\frac{1}{30}$.

Au lieu de faire avec ce sable et cette chaux un mortier en bouillie liquide, il réduit le plus possible la quantité d'eau, il fait subir à ce mélange une trituration énergique et prolongée au moyen d'appareils spéciaux, et par cette trituration, malgré la grande réduction d'eau, il finit par obtenir une pâte pulvérulente, qui arrive par une trituration plus prolongée à l'état de pâte plastique très-ferme.

Cette pâte est versée dans un moule, par couches successives et très-minces, qui sont soumises à un vigoureux pilonnage. Ce pilonnage opère une telle agglomération qu'il entre dans chaque mètre cube de maçonnerie plus de quinze hectolitres de matières sable et chaux.

A la suite de cette agglomération, la chaux, dont les molécules se trouvent ainsi mécaniquement rapprochées à contact, acquiert une rapidité et une intensité de prise inouïe telle que quelques jours, quelques heures, suffisent pour donner de la pierre.

Or, comme le travail du jour se soude parfaitement à celui de la veille, il en résulte que l'on peut augmenter indéfiniment la masse d'une maçonnerie, de telle sorte qu'une maison, un pont, un réservoir ou toute autre construction, ne forment ou peuvent ne former qu'un bloc, un véritable monolithe. En un mot, ce procédé constitue l'art de faire de la pierre sans fin.

Ce résultat est d'autant plus important que la dureté de cette pierre peut atteindre celle des pierres naturelles les plus dures, tout en offrant l'avantage d'une parfaite homogénéité dans toute la masse, de ne présenter aucuns fils et de coûter beaucoup moins cher, partout où le sable et la chaux se trouvent à proximité, attendu les faibles proportions de chaux par rapport à celles du sable.

D'après M. Coignet, s'il est vrai que la présence d'un silicate double de chaux et d'alumine dans la chaux est la cause de l'hydraulicité, il n'est pas moins vrai que la dureté finale d'un mortier de béton tient moins à l'introduction de matières durcissantes agissant chimiquement qu'à un simple arrangement moléculaire, à un rapprochement des molécules opéré par une trituration presque à sec, et par un pi-

lonnage qui a pour propriété d'augmenter la prise de la chaux et de l'activer prodigieusement.

Ce mode d'emploi a une efficacité si décisive, les qualités de chaux jouent par rapport à lui un rôle si peu important, qu'il les ramène toutes à une égalité presque complète, c'est-à-dire que si, ayant opéré sur la chaux de la meilleure qualité, on obtient, il est vrai, une prise un peu plus hâtive et énergique que celle offerte par les chaux de médiocre qualité, surtout pour les constructions à l'air, au bout de peu de temps les duretés se rapprochent tellement de l'égalité qu'il devient impossible d'apprécier la différence. Résultat très-important, puisqu'il permet de se servir avec sécurité de toutes les chaux hydrauliques que l'on trouve sous la main, tandis que, avec les procédés ordinaires, on ne peut obtenir même de médiocres mortiers qu'en employant les meilleures chaux. Ce remarquable résultat conduit M. Coignet à faire une théorie qui lui explique pourquoi, dans la plupart des cas, les maçonneries de ciment n'acquièrent pas une dureté croissante proportionnelle à leur énergie de prise originelle, tandis que les mortiers de chaux, quand ils sont bien faits, vont sans cesse en durcissant.

A son avis, cela tient à ce que les ciments ne contiennent que fort peu de chaux libre à l'état d'oxyde de calcium, ces ciments étant presque entièrement composés de sels à radical de silice formés par la cuisson à une très-haute température.

Or, quand on sait que la chaux, oxyde de calcium, a la propriété d'absorber, pour passer à l'état de carbonate, un poids presque égal au sien d'acide carbonique, on conçoit que plus un ciment sera parfait, moins il contiendra de chaux libre, moins il aura la puissance d'absorber de l'acide carbonique, tandis que plus un mortier ou un béton contiendra de chaux libre, plus cette absorption sera puissante et énergique, plus augmenteront le poids, la densité et la dureté, c'est-à-dire que si un mètre cube de mortier contient 200 ou 300 kilog. de chaux libre, il pourra absorber 200 ou 300 kil. d'acide carbonique, pendant que le ciment n'en absorbera que peu ou pas. Telle est, d'après M. Coignet, la principale cause du durcissement progressif du mortier et du béton, quoiqu'elle ne soit pas la seule, car il y a lieu de tenir compte, surtout pour les travaux au-dessous du sol, des incrustations de sels calcaires ou autres, qui se produisent toujours à la longue.

Cette action de l'acide carbonique de l'air se produit d'une manière bien plus frappante pour les bétons agglomérés que pour les bétons ordinaires. En effet, ajoute M. Coignet, on comprend que si à un béton déjà si dense, puisque chaque mètre cube contient plus de quinze hectolitres de matière, où les molécules sont si rapprochées par le mélange, il s'ajoute un corps nouveau, l'acide carbonique, cette cause de densité s'ajoutant à tant d'autres donnera des résultats extraordinaires. C'est ainsi que des bétons agglomérés, composés de cinq parties de sable, d'une partie de chaux en poudre pesant 55 kilog. l'hectolitre et d'une demi-partie, soit $\frac{1}{12}$, de ciment, donne de la pierre résistant à plus de 20 kilog. à l'arrachement par centimètre carré, tandis que les matières composées d'une partie des meilleurs ciments et de deux parties de sable n'atteignent jamais 10 kilog. par centimètre à l'arrachement. Quant aux mortiers de chaux, on sait qu'un béton de cent ans n'est qu'un enfant; aussi, au bout de plusieurs années, les bons mortiers ordinaires résistent-ils à peine à 1 ou 2 kilog. à l'écrasement; quant à l'arrachement, on n'en parle pas.

L'influence de la suppression de l'eau, de la trituration énergique et de l'agglomération est si puissante, qu'avec la plus mauvaise chaux, même avec la chaux grasse,

avec le plus mauvais sable, même avec les sables marins impalpables dont on ne peut pas même faire du mortier, avec des sables marneux, elle permet de faire de très-bonne pierre. M. Coignet, à l'appui de ce qu'il vient d'énoncer, montre des spécimens, parmi lesquels il fait remarquer deux échantillons qui, contenant du sable de rivière, gros grain, présentent assez de dureté pour pouvoir être polis.

Ensuite, M. Coignet indique le parti qu'il a tiré dans la pratique en grand de l'art de faire de la pierre par son procédé, et de l'obtenir à volonté à un état de dureté égal à celui des meilleures pierres naturelles.

L'application la plus importante est celle qui a été faite aux égouts; en ce moment, huit machines à vapeur fonctionnent dans les rues de Paris et produisent chaque jour plus de deux cents mètres d'avancement.

La ville de Paris a également fait faire des essais de fosses d'aisances au dépotoir de la Villette, et le résultat a été si satisfaisant que, par ordonnance spéciale du 1er août 1862, M. le préfet de la Seine a autorisé la construction de fosses d'aisance, en béton aggloméré.

Les architectes de la ville de Paris, ayant reconnu la solidité des constructions du béton aggloméré, à la suite des travaux exécutés pour M. Hainguerlot, sous la direction de M. Fourneyron, membre de la Société, à la scierie d'Aubervilliers (voûtes, etc.) et de la construction de maisons pour M. Boca dans la rue de la Faisanderie, ont autorisé l'emploi des bétons agglomérés pour les fondations, voûtes et dallages de monuments publics, et l'introduction de leur prix dans le tarif de la ville.

M. Coignet cite en outre :

Les fondations de maisons d'une parfaite étanchéité, avantage précieux dans les terrains humides;

Les voûtes d'une flèche très-réduite qu'il est possible de substituer aux planchers en fer;

Des dallages de la plus grande étendue sans aucune fissure, et tellement durs qu'on peut les considérer comme inusables dans des cours, des écuries, des remises, des caves, des magasins, des forges, des ateliers, des trottoirs; ces dallages peuvent être soumis au roulement des plus lourdes voitures;

Des citernes, des réservoirs d'eau parfaitement étanches, et des fosses de gazomètres, offrant toutes les conditions de la plus extrême solidité;

Des fondations de machines, offrant une économie de 50 p. 100 sur les fondations ordinaires en pierres de taille, qui finissent toujours par se disjoindre.

Les travaux de ce genre ont été exécutés à Saint-Gobain, Oyssel, Aubervilliers, Châteauroux, Nantes, et surtout à Paris;

Des planchers et de vastes toitures en terrasse d'une grande portée, qui se sont montrés tout à fait insensibles à l'action des pluies, du soleil et de la gelée;

Enfin, le travail le plus important exécuté en bétons agglomérés est l'église du Vésinet, sous la direction de M. Paul, membre de la Société, qui depuis bien des années donne tous ses soins et tout son talent aux progrès de l'entreprise des bétons agglomérés.

Cette église est de style gothique, et la maçonnerie entière forme un tout monolithe.

Le béton employé se compose de :

Sable de rivière.	3
Sable terreux et ferrugineux du Vésinet.	1
Chaux d'Argenteuil éteinte en poudre.	1
Ciment lourd de Paris..	0,25

La couleur qu'a prise le béton avec le temps est des plus agréables à l'œil, la forme ne laisse presque rien à désirer, quoique les plans de l'architecte aient été faits pour la pierre et non pour le béton.

La construction de cette église a démontré deux faits importants pour l'avenir des bétons agglomérés :

1° Leur parfaite résistance aux intempéries (le travail n'a pas été interrompu pendant l'hiver rigoureux qui vient de s'écouler, et aucune partie ne porte trace de gelée);

2° La possibilité de faire des raccords en béton aggloméré, et par application en couches minces contre les parois, sans altérer la couleur ni la force, et sans donner lieu à aucun décollement soit par la chaleur, soit par la gelée.

Les bétons agglomérés ont reçu encore d'autres applications, les progrès n'ont pas été moindres pour la fabrication des pierres artificielles.

Ils ont servi à faire des dalles, des marches d'escalier, des dés, des pierres palières, des bordures de trottoirs.

Ils ont des variétés de nuance qui permettent de satisfaire à tous les désirs de l'architecte.

Ils ont une plasticité telle, qu'avec eux on a pu exécuter des statues, des bas-reliefs, des balustrades, etc., et en un mot tout ce qui se fait ordinairement en pierre sculptée ou en terre cuite, avec une économie de 40 à 50 p. 100 et plus.

M. Coignet, après avoir passé ainsi en revue une partie des applications réalisées à ce jour, en indique quelques autres d'une réalisation presque certaine.

Ce sont :

1° Les fondations monolithes de bâtiments sur les terrains mouvants et compressibles dans le but de remplacer les cadres et les pilotis;

2° Les barrages monolithes;

3° Les ponts avec leurs arcs, piles et culées.

Pour les fondations, il fait ressortir la possibilité de construire un édifice entier, sur une dalle monolythe, d'une longueur et d'une épaisseur telle qu'elle soit susceptible de répartir la charge sur une grande surface de terrain, tout en étant elle-même susceptible de résister par sa cohésion propre aux mouvements partiels qui pourraient se produire dans le terrain inférieur, le béton aggloméré résistant à un effort de 20 ou 25 kilog. à l'arrachement, et de 200 kilog. à l'écrasement.

L'étanchéité de ce béton mettrait d'ailleurs le bâtiment à l'abri des détériorations provenant de l'infiltration des eaux, si on prend le soin de mettre les fondations dans un mur d'enceinte de faible épaisseur.

Le récent désastre de Sheffield aurait certainement été prévenu si, au lieu de faire un barrage en glaise ayant à peine quelques mètres d'épaisseur pour une hauteur considérable, il eût été fait en béton aggloméré, dont le poids est tel qu'il serait capable de résister à l'effort de renversement sous des épaisseurs n'ayant rien d'exagéré, et dont la résistance propre déjà si grande peut être augmentée par l'introduction de tirants en fer noyés dans la masse; avec un barrage en béton aggloméré les infiltrations sont impossibles, mais en admettant même qu'elles se produisent, elles n'auraient pas l'action destructive qu'elles ont eue sur le mur en glaise de Sheffield et qu'elles auraient même sur un mur en moellons dont les parties tendent toujours à se séparer.

Enfin, arrivant à l'application des bétons agglomérés à la construction des ponts,

M. Coignet examine dans quelles conditions les ouvrages de ce genre doivent être établis.

Il fait remarquer que les culées construites en matériaux ordinaires tendent toujours à se disloquer par le manque d'équilibre dans la pression, et qu'on est toujours obligé d'en exagérer la masse, que l'emploi du béton aggloméré permettrait de réduire au strict nécessaire; le monolithisme des culées n'offrant que des avantages et pas un inconvénient, il n'y a pas lieu d'insister sur la convenance du monolithisme absolu pour chacune des culées.

Reste donc l'arc.

L'arc doit-il être composé d'un assez grand nombre de voussoirs se conduisant d'une manière analogue aux arcs construits à la manière ordinaire?

Doit-il être construit en deux blocs s'arc-boutant au centre comme deux poutres, et reposant sur les culées sans former monolithe avec elles?

Enfin ne doit-il former qu'un seul bloc reposant sur les culées sans être soudé avec elles?

Si l'arc est composé de voussoirs, il faut maintenir une grande épaisseur à la clef, on ne profite pas de l'élasticité et de la résistance considérable des bétons, la flèche doit être plus grande enfin, les cintres devraient être semblables à ceux employés ordinairement.

Le second système comprenant seulement deux parties d'arc-boutant, il y a réduction des cintres, puisqu'on pourrait construire simultanément chacun des voussoirs par couches concentriques, les premières couches formant support pour les couches suivantes, et il y aurait seulement à craindre l'écartement des culées, mais on se trouve ainsi dans les conditions des ponts à voussoirs multiples : il suffit de donner assez de résistance aux culées.

Si un arc formant bloc monolithe permettait la réduction du cintre comme dans le cas précédent, cet arc agirait comme une poutre; tout en conservant les lois de pression d'un arc de pierre, il y aurait maximum de légèreté, d'élasticité, de réduction de courbure et d'économie, surtout si on place à l'intérieur des tirants en fer ou mieux des fils de fer qui ajouteraient leur résistance à celle du béton, qui est déjà de 20 kilogr. à l'arrachement et 200 kilogr. à l'écrasement par centimètre carré.

Il rappelle qu'il a été construit au quai de Billy un arc de pont de 45^{m} d'ouverture à $\frac{1}{10}$ de flèche et de 0^{m},80 d'épaisseur à la clef.

Cet arc, primitivement monolithe, après avoir résisté aux épreuves auxquelles on avait cru devoir le soumettre, a perdu spontanément son monolithisme, une fissure s'est produite au centre et à la partie inférieure, la partie supérieure n'a présenté aucune trace de fissure; mais quoique invisible cette fissure doit exister.

Au-dessus de cet arc et sur les mêmes culées, un nouvel arc a été jeté d'une hardiesse exagérée, cet arc a 47^{m},50 d'ouverture, il est en anse de panier, sa flèche moyenne est de $\frac{1}{45}$; mais les 4^{m} du centre sont surbaissés de $\frac{1}{50}$, et les 8^{m} du centre le sont en moyenne de $\frac{1}{25}$, l'épaisseur de la clef est seulement de 0^{m},33.

Cet arc a été construit au 1er novembre, sans abri, par une pluie battante qui n'a pour ainsi dire pas cessé; à peine était-il fini qu'il a été surpris par une gelée de — 5°, ni la pluie ni la gelée n'ont produit aucune détérioration, il a été décintré un mois après, il n'a baissé que de 1 à 2 millimètres.

Jusqu'au 4 janvier il est resté complétement monolithe; mais, à ce moment, les froids survenus de — 10° ont amené un retrait, et il s'est produit deux fissures, aux naissances de l'arc de chaque côté à l'endroit où l'épaisseur est de 1m,50 à la partie supérieure et dans la maçonnerie morte.

D'après M. Coignet, la rupture aurait dû avoir lieu au centre, mais comme quelques brins de fil de fer avaient été introduits entre les couches de bétons, leur résistance a suffi pour empêcher la rupture de se produire en ce point.

M. Coignet conclut en ces termes : un pont formé de trois monolithes, savoir, deux culées monolithes portant un arc monolithe, paraît réunir toutes les conditions possibles de stabilité, il semble qu'un arc monolithe formant poutre et renforcé à la clef par l'introduction de fil de fer, c'est-à-dire à l'endroit où un poids engagé sur le pont provoque le plus dangereusement la rupture dans le cas d'écartement des culées, présente une résistance bien plus grande que les arcs en voussoirs ou que les arcs-boutants, d'autant plus que le béton aggloméré est tellement dur et homogène qu'il possède une élasticité bien sensible.

Au reste, une expérience prochaine, la construction d'un pont de 12 mètres d'ouverture normale, biais à 27°, sera faite dans quelque temps; l'essai a déjà été fait sur un pont ayant le même biais, mais seulement 5 mètres de portée; cet essai a parfaitement réussi.

Les membres de la Société sont invités par M. Coignet à aller visiter son usine, à Saint-Denis, où ils verront des spécimens de tous les travaux exécutés jusqu'à ce jour.

MM. Bourgeot, Crespin, Déodor, Faure-Beaulieu, Foucault, Hallié, Langlois, Lavergne, Lefèvre, de Place et Vaillant, ont été reçus membres de la Société.

Séance du 20 Mai 1864.

Présidence de M. Petiet.

M. le Président donne lecture de la note suivante que lui a adressée M. Vuillemin.

Le compte rendu de la séance du 15 avril n'ayant pas reproduit exactement l'analyse faite par M. Vuillemin du mémoire de M. Desgrange sur l'exploitation du Semmering, il y a lieu de faire les rectifications suivantes :

1° La charge des trains des nouvelles machines n'est pas de 150 tonnes, au lieu de 117 qu'elle était avec les anciennes, mais bien de 175 tonnes. M. Desgrange ajoute que, dans beaucoup de cas, elle atteint même 200 tonnes.

2° Parmi les divers systèmes de machines proposés pour les chemins à fortes rampes et à courbes de petits rayons, M. Desgrange a indiqué la machine à trains articulés de M. Meyer; mais il ajoute qu'il n'est nullement tenté de donner la préférence à ce système pour le cas spécial du Semmering. Il pense que s'il était néces-

saire de recourir à des moteurs plus puissants que celui employé, il faudrait adopter, pour des chemins à forte inclinaison et à courbes de 190 mètres de rayon, des machines articulées, et, dans ce cas, le système Meyer paraît préférable.

C'est parce que la machine à 6 essieux du Nord ne remplit pas ces conditions, qu'elle ne semble pas applicable aux courbes du Semmering.

Enfin, M. Desgrange dit que le système consistant à employer deux machines, l'une en tête, l'autre en queue, sur les fortes rampes, n'était pas applicable dans les courbes à petits rayons du Semmering, et ne présentait aucun avantage. Si ce moyen donne de bons résultats sur quelques tronçons de lignes, c'est que ces lignes ne comportent pas de courbes aussi faibles que celle du Semmering; il n'est employé, d'ailleurs, qu'exceptionnellement et ne peut être considéré comme une solution de la traction en faible courbe et en forte rampe.

M. Vidal donne lecture d'une note sur l'application de la théorie mécanique de la chaleur à l'étude de l'échappement.

Le rôle que joue dans une locomotive la tuyère d'échappement n'avait pu, jusque dans ces derniers temps, être examiné que par des méthodes expérimentales. M. Zeuner, à qui l'on doit déjà plusieurs travaux remarquables sur les locomotives, est parvenu récemment à grouper tous les faits et à expliquer des phénomènes très-complexes en apparence, au moyen d'une formule basée sur les principes de la théorie mécanique de la chaleur.

La formule, déduite rigoureusement des principes fondamentaux, a été contrôlée d'abord par des expériences faites avec un appareil spécial dans les ateliers du chemin de fer du Nord suisse; puis en étudiant la marche de locomotives en service régulier; enfin, en résumant toutes les observations par des tracés graphiques et des tableaux numériques qui ont montré un accord complet avec les indications de la formule.

L'appareil expérimental se compose essentiellement d'un cylindre ayant un diamètre de $0^m,57$ et une hauteur de $0^m,45$. On a d'abord admis la vapeur seule par un orifice d'un diamètre de $0^m,01$, puis par un orifice de section double. L'échappement se faisait par une cheminée dont le diamètre était à volonté $0^m,15$, $0^m,12$, $0^m,10$, $0^m,08$ ou $0^m,04$, et la hauteur $1^m,500$, $1^m,125$, $0^m,750$, $0^m,375$ ou $0^m,187$. Deux manomètres, l'un à eau, l'autre à mercure, servaient à mesurer la tension dans le cylindre pendant que l'on faisait varier les conditions de l'échappement.

Dans une seconde série d'observations, on a donné accès à l'air atmosphérique par des orifices dont les diamètres ont été successivement $0^m,01$, $0^m,02$, $0^m,04$, $0^m,06$, $0^m,08$ et $0^m,10$.

C'est ainsi que l'on a pu vérifier la formule théorique

$$\frac{A}{V} = \sqrt{\frac{S_2^2\left(\frac{S_1}{S} - 1\right)}{\mu S_1^2 + S_2^2}}$$

A représente le poids d'air aspiré par un poids V de vapeur; S l'aire de l'orifice d'échappement, S_1 celle de la cheminée, S_2 la section de l'orifice par lequel l'air est introduit; enfin μ un coefficient qui dépend des résistances passives et que l'on détermine sans difficulté dans chaque cas particulier. Pour les machines à marchandises du chemin Nord Suisse, ce coefficient s'est trouvé égal à 3. Il est généralement compris, *dans les conditions d'une marche normale*, entre 3 et 5.

Avant de discuter cette formule, nous indiquerons quelques résultats auxquels des expériences préalables avaient déjà conduit M. Zeuner :

1° L'influence de la distance entre l'orifice de la tuyère et le bas de la cheminée est secondaire. Il suffit que le jet conique de vapeur pénètre librement dans la cheminée;

2° On peut sans inconvénient faire varier dans de larges limites les dimensions de l'espace dans lequel se font l'échappement et l'aspiration ;

3° La forme des parois exerce une plus grande influence. Il convient que les masses gazeuses soient ramenées naturellement vers l'axe de la cheminée ;

4° La longueur de la cheminée ne doit, dans aucun cas, être inférieure à trois fois son diamètre; elle paraît pouvoir s'élever sans inconvénient jusqu'à près de trente fois ce diamètre; vers cette limite, l'influence des frottements devient notable.

La première conclusion à déduire de la formule établie plus haut, c'est que la tension de la vapeur ne paraissant pas explicitement, les quantités absolues d'air et de vapeur peuvent varier; mais leur rapport n'est pas modifié par des changements dans la tension seule.

En second lieu, tant que l'on ne touche pas à l'échappement, le rapport entre les poids d'air aspiré et de vapeur consommée reste invariable. Si la dépense augmente, le tirage devient plus actif dans la même proportion. L'échappement se règle donc automatiquement avec une grande précision. C'est une propriété caractéristique et très-remarquable.

Lorsque la marche d'une locomotive s'accélère, elle dépense plus de vapeur par unité de temps; une plus grande quantité d'air est aspirée, par suite le tirage est plus actif que lorsque la marche se ralentit. Si la vitesse diminue à un moment donné, quoique l'on ait augmenté la période de l'admission à pleine vapeur, il peut arriver que le tirage soit moins énergique. En effet, la quantité d'air aspiré varie proportionnellement au produit de la vitesse par la fraction correspondante de la course, et lorsque les éléments de ce produit sont changés à la fois, sa nouvelle valeur sera tantôt plus grande, tantôt plus petite que précédemment.

Supposons maintenant que l'on modifie artificiellement les conditions dans lesquelles se produit l'échappement.

1° *Changements dans la section* S *de la tuyère.* A mesure que cette section diminue, la quantité d'air aspiré s'accroît, quoique ce changement augmente un peu la contre-pression qui s'exerce derrière le piston. Pour les locomotives du type qui a été spécialement étudié, l'aire de la tuyère variant dans le rapport de 1 à 1,9, la quantité d'air a diminué dans le rapport de 1 à 0,7.

2° *Changement dans la section* S_1 *de la cheminée.* Il existe une certaine proportion qui correspond à un maximum d'effet utile, lorsque la section de la cheminée varie seule, et cette proportion est indiquée par la formule

$$S_1 = S\left(1+\right)\sqrt{1+\frac{1}{\mu}\left(\frac{S_2}{S}\right)^2}.$$

3° *Changements dans la section* S *des tubes.* La quantité d'air aspiré varie dans le même sens que cette section. Ce mode de réglementation serait très-efficace; mais, dans la pratique, on rencontre des difficultés assez sérieuses lorsque l'on essaye de le réaliser.

4° *Changements dans la valeur de* μ *ou dans les résistances passives.* Il est évident que si, par exemple, on fermait complétement le cendrier, le tirage deviendrait

nul, etc. Comme on doit toujours, en marche normale, se placer dans les conditions les plus favorables, la valeur de μ est alors aussi petite que possible, et un changement de ce genre ne permettrait que de réduire à volonté le tirage.

La formule à laquelle conduit la théorie mécanique de la chaleur permet donc de résumer sous une forme très-claire et très-simple tous les phénomènes que présente l'échappement dans les locomotives. Une discussion détaillée exigerait des développements dans lesquels nous ne pouvons entrer ici. Cette étude a d'ailleurs été faite déjà dans des traités spéciaux, et elle ne présente aucune difficulté réelle.

M. Geoffroy dit que, pour appliquer la formule de M. Zeuner, il faudrait connaître *à priori* le coefficient μ; or, ce coefficient, ainsi que l'a dit M. Vidal, est variable avec chaque machine; il ne peut par conséquent être déterminé que sur la machine elle-même. La formule ne peut donc pas s'appliquer directement.

M. Geoffroy n'a pas d'objections graves à faire à la théorie de M. Zeuner, développée par M. Vidal. Les expériences qu'il a faites à La Chapelle, sous la direction de MM. Petiet et Nozo, ont donné des résultats concordant généralement assez bien avec la formule. Elles ont toutefois démontré que le rapport de trois fois le diamètre, pour la longueur de la cheminée, n'est pas suffisant.

M. Geoffroy ne trouve pas, comme M. Zeuner, qu'au delà de cette limite le tirage soit constant; il augmente encore sensiblement et atteint généralement son maximum lorsque la hauteur est égale à six ou sept fois le diamètre.

Il cite à l'appui de cette observation l'exemple de la machine Crampton, dont la cheminée a $0^m,40$ de diamètre. La hauteur suffisante, d'après M. Zeuner, serait de $1^m,20$, tandis que la pratique a démontré qu'il fallait au moins 2 mètres pour obtenir un tirage suffisant.

M. Vidal dit qu'il ne voit aucune raison théorique qui puisse justifier cette grande hauteur.

M. Geoffroy répond que les chiffres qu'il donne ont été confirmés par des expériences directes sur les locomotives.

M. Marin donne lecture d'un mémoire sur le système de chauffage de M. Siemens et son application à la métallurgie du fer, procédé qui, malgré la notable économie obtenue dans presque toutes les industries où l'on a besoin d'une température élevée, n'est encore couramment adopté, en France surtout, que par l'industrie du verre.

Ce système a pour but : 1° l'emploi du combustible, quel qu'il soit, à l'état gazeux; 2° l'utilisation complète de la chaleur développée par la combustion.

M. Marin donne d'abord la description de l'appareil générateur de gaz. Le combustible y descendant sur un plan incliné, puis sur une grille à même inclinaison, est soumis à une distillation partielle et ensuite à une transformation complète en oxyde de carbone, au moyen de l'air qui pénètre par les grilles, y produisant de l'acide carbonique dont la réduction s'opère à travers la masse incandescente.

La composition du mélange gazeux obtenu dans cet appareil dépend surtout du combustible employé; le gaz fourni par du coke est presque entièrement formé d'oxyde de carbone pur et d'azote, avec quelques centièmes d'acide carbonique; la houille donne au contraire toujours naissance à des hydrocarbures; des analyses faites à Saint-Gobain ont donné les résultats suivants :

Acide carbonique.....	6 à 9 %
Oxygène	0.1 à 3,2 »
Oxyde de carbone.....	17 à 22 »
Hydrogènes carbonés.....	3 à 6 »
Hydrogène.....	5 à 17 »
Azote	55 à 65 »

M. Marin donne des indications sur la conduite de l'appareil, dont les grilles doivent être toujours parfaitement débarrassées des cendres déposées; le charbon s'y trouver au rouge clair; les crasses et cendres non fondues retirées régulièrement du bas de la chambre; le gaz enfin présenter partout un léger excès de pression sur la pression atmosphérique. Quant au combustible dont il est préférable de faire choix, après avoir signalé la propriété éminemment importante du procédé de pouvoir convenir à tous, bois, coke, houilles de toute sorte, avec de très-légères modifications de construction et de conduite, après avoir examiné les caractères de différentes allures, le charbon trop gras, trop maigre, trop menu, etc., il conclut pour l'adoption d'une bonne houille demi-grasse, toutes les fois que des circonstances spéciales ne feront pas une nécessité de l'emploi de telle ou telle autre qualité.

Toujours est-il que le procédé Siemens obtient le gaz d'un combustible quelconque, au moyen d'un appareil simple et sans le secours d'aucun moyen de soufflage; c'est ce qui en détermine la particularité; et cette absence d'engin mécanique fait certainement la supériorité de cette première partie du procédé sur la plupart des systèmes antérieurs.

Des appareils producteurs, le gaz se rend au four par une conduite dont une partie au moins doit être, à l'origine, élevée de 4 à 6 mètres au-dessus du sol, afin de refroidir le gaz, et de déterminer ainsi son mouvement comme dans une espèce de siphon, par un excès de pression.

C'est au four lui-même que se trouve la partie vraiment intéressante du système, dont le point essentiel est celui-ci : reprendre à la flamme, alors qu'elle a traversé le four, et qu'elle conserve encore une très-grande chaleur, ordinairement perdue, toute cette chaleur, l'emmagasiner, et la restituer, dans un mouvement inverse, au gaz et à l'air comburant avant leur entrée dans le four.

Pour arriver à ce résultat, au point de n'envoyer à la cheminée les produits de la combustion qu'à une température voisine de 100°, M. Siemens interpose entre le four et la cheminée des chambres garnies de briques réfractaires superposées et croisées. C'est en traversant avec une gêne continue ces régénérateurs que la flamme se dépouille à leur profit de sa chaleur; à un moment donné, on interrompt le mouvement de la flamme dans ces chambres, et on y fait arriver inversement dans l'une le gaz combustible, dans l'autre l'air; gaz et air s'échauffent ainsi à 1,000°, 1,200°, avant de se combiner et d'entrer dans le four. Pendant que cette circulation refroidit les chambres, la flamme en échauffe deux autres, dans lesquelles, à une inversion de mouvement suivante, les choses se passeront de même, et ainsi de suite. Suit la description du four sur ce principe, dont l'application est rendue parfaitement simple et facile au moyen d'une valve spéciale dont le fonctionnement, entre les conduits des régénérateurs d'entrée et de sortie, de la cheminée, et de l'arrivée de gaz ou d'air, peut être comparé à celui d'un robinet à quatre voies. Il y a une valve à air et une à gaz; et suivant que, dans l'une et l'autre, le clapet occupe l'une de ses deux positions possibles, le mouvement de la flamme se fait dans un sens ou dans un autre.

Il y a à régler, dans un four Siemens, 1° la proportion d'air et de gaz; on donne généralement aux soupapes d'admission une levée d'air moitié moindre de celle du gaz; cette quantité variant naturellement avec la nature de la flamme que l'on veut obtenir, oxydante ou réductrice, avec le tirage, etc.; 2° l'intervalle des inversions de valves, variant en moyenne de demi-heure à deux heures, mais toujours régulièrement espacées; 3° le tirage que l'on maintient toujours à sa plus faible limite, de façon à avoir toujours pression à l'intérieur du four.

M. Marin résume ainsi les avantages généraux de ces fours : 1° la possibilité d'obtenir, sans grand tirage, une température, pour ainsi dire, illimitée; 2° une grande pureté de flamme, susceptible d'améliorer les produits et de réduire les déchets; 3° la possibilité de régler, à volonté, l'intensité et la composition chimique de la flamme; 4° l'utilisation de combustibles dont les procédés ordinaires de l'industrie ne tirent qu'un très-mauvais parti; 5° enfin, ce qui est le point essentiel, une très-grande économie de combustible.

Cette économie, d'après des exemples tirés d'un assez grand nombre d'usines, peut être évaluée de 30 à 40 pour 100; les applications faites en Angleterre indiquent même 50 pour 100 en moyenne; et il paraît permis de considérer le chiffre de 40 pour 100 comme une base d'appréciation nullement exagérée, quand il est obtenu dans des établissements à peine sortis de la période des tâtonnements.

La plus sérieuse objection qui se présente à l'encontre de la série d'avantages, c'est la question de l'engorgement des conduites par des suies et des goudrons; mais cet inconvénient n'est réellement pas à redouter; il n'a quelque importance qu'avec des gaz provenant du bois ou de houilles très-grasses; nuls avec du coke, ces dépôts n'exigent guère de nettoyage avec des houilles maigres ou demi-grasses, c'est à-dire, dans la plupart des cas, que toutes les cinq ou six semaines, l'opération du nettoyage consiste à brûler les dépôts d'un bout à l'autre des conduites; deux ou trois heures suffisent pour cela; et il est presque toujours facile de les trouver, sans gêne, à la fin d'un train, au moment de l'arrêt périodique d'un four.

La seconde partie du mémoire est consacrée à l'application du procédé à la métallurgie; c'est aux forges de Sougland que le premier four Siemens à souder le fer a été construit. M. Marin indique les dimensions principales des fours ordinaires de cette usine et celles du four à gaz devant les remplacer; il recommande, dans ce genre de fours, trois points que l'expérience a démontrés essentiels : voûte plate; section d'entrée (et d'échappement) de flamme très-restreinte; et enfin réduction au minimum, à l'intérieur du four, de l'espace libre laissé à la flamme.

Cette marche de la première année à Sougland s'est trouvée trop souvent contrariée par l'insuffisance du gaz fourni dans le principe par un seul appareil générateur. La moindre irrégularité dans la marche de cet appareil se traduisait par deux ou trois heures d'arrêt au four, et surtout par des augmentations très-considérables de déchet; M. Marin cite des expériences, dans lesquelles, le temps de séjour des charges au four variant de 1 heure 50 minutes à 3 heures 15 minutes, les déchets ont varié de 12,7 pour 100 à 20 pour 100; tandis que les charges faites dans de bonnes conditions (c'est-à-dire avec abondance de gaz) ont toujours présenté des résultats remarquables comme conservation parfaite des paquets enfournés, et avec un déchet inférieur à 10 pour 100. Cela montre l'utilité d'avoir en appareils producteurs de gaz toujours plus que le strict nécessaire, d'en allumer deux, notamment pour un simple four à souder.

Quoi qu'il en soit, le four de Sougland, réglé avec une levée de 8 à 10 centimètres

au champignon à gaz (ce qui répond à une section d'environ 0^{mq},135), une levée de 3 à 4 centimètres seulement au champignon à air, et deux changements de valves par charge, a moyennement consommé 2,000 kilogr. de houille par 24 heures; on y passait treize à quatorze charges de treize paquets fournissant en tout 5,600 kilog. de bidons rognés pour tôle fine; ce qui répond à une consommation moyenne de 360 kilog. pour 100, tandis qu'elle était de 600 pour 100 dans les anciens fours. — Le fer était d'une qualité au moins égale; et quant au déchet, il est arrivé, en dépit des irrégularités signalées, à être inférieur moyennement d'environ 1 1/2 pour 100 à celui des fours ordinaires montant à 12,5 pour 100. Tel est le résultat de la première application dans une forge française.

Les inconvénients à opposer à cette économie d'environ 40 pour 100 sur le combustible, et 1 1/2 pour 100 sur le fer, sont : d'abord, une certaine délicatesse dans la pratique du procédé. Les dépenses d'établissement à peu près doublées; et enfin, l'impossibilité d'établir à la suite de ces fours les chaudières à vapeur qui en sont l'annexe ordinaire, et fournissent sans dépense aux besoins des usines. Cette question des chaudières, qui n'est peut-être pas très-importante, à ne considérer que les frais d'un chauffage spécial pour elles, est au contraire capitale quant aux frais considérables de construction que leur déplacement exige, et à la possibilité surtout de le faire. Dans une usine existante, cette transformation sera presque toujours difficile, peu fructueuse, et souvent impraticable; tandis que s'il s'agit d'un établissement à créer ou à agrandir, les difficultés locales n'existant plus de même, l'application du procédé reprend ses avantages, auxquels on doit joindre une certaine simplification de main-d'œuvre et de service.

C'est à la même conclusion que l'on arrive pour les fours à puddler Siemens, dont le premier essai a également été fait à Sougland. Avec le manque de gaz, qui ici encore est venu entraver ce travail, et s'est traduit par une diminution de production assez notable, on est cependant parvenu, en moyenne, à puddler avec 700 kilogr. de houille pour 100 des fontes qui, sur les fours ordinaires, en exigent 900 pour 100. L'absence de fours à chauffer les fontes avant l'enfournement doit toujours diminuer d'environ 10 pour 100 la production, mais pas davantage; et sauf cet inconvénient, le travail du puddlage, par ce procédé, est aussi parfait que possible, en donnant le maximum de la chaleur au début de l'opération, puis rendant la flamme oxydante pour le bouillonnement, et réductrice pour l'achèvement de la charge. On réalise très-facilement ces conditions tout à fait favorables; et elles ont permis d'ajouter à l'économie de 30 pour 100 une réduction de 2 pour 100 de déchet; le fer produit est de qualité au moins égale ou supérieure.

Quant aux circonstances qui doivent plus ou moins, au point de vue administratif, contrebalancer ces avantages, ce sont les mêmes que pour les fours à souder : l'impossibilité avant toutes autres, ou la difficulté de déplacer économiquement les chaudières; et M. Marin conclut de même en jugeant bornée l'adoption du système dans des usines existantes dont la transformation serait plus ou moins difficile, et la recommandant au contraire pour des usines à créer ou à agrandir. Un rapide coup d'œil sur quelques autres industries, verreries, usines à gaz, termine ce mémoire, dont l'auteur croit utile d'appeler l'attention sur une invention aussi féconde en pratique qu'ingénieuse dans son principe.

M. Rabel ne croit pas que la température du gaz puisse être seulement de 100° au bas de la cheminée. M. Marin dit que la chambre échauffée des régénérateurs at-

teint 500 à 600°; les gaz, à la sortie de cette chambre, devraient avoir à peu près la même température.

M. Marin répond qu'il n'en est pas ainsi dans les fours bien établis et bien conduits, parce qu'en raison du mode de construction des régénérateurs, le passage des flammes est extrêmement gêné. Dans les fours métallurgiques, par exemple, les étages supérieurs sont chauffés au blanc, tandis que les étages inférieurs sont noirs, et ce résultat est obtenu sans que les régénérateurs soient très-développés.

MM. Petiet et Salvetat confirment le dire de M. Marin. Ils ont vu fonctionner des appareils dans lesquels la température, au bas de la cheminée, n'était que juste celle nécessaire pour produire le tirage.

M. Ebmel dit que l'application du système Siemens à la fabrication du gaz nécessite un combustible spécial. On avait d'abord pensé à utiliser les menus de coke; mais il ne croit pas qu'on ait réussi à le faire.

M. Salvetat explique les premiers insuccès en faisant remarquer que les foyers générateurs de gaz avaient été construits sur le même type que ceux dont l'alimentation se fait au moyen de la houille. La nature du coke, combustible qui ne donne aucun produit à la distillation, et qui développe sur les points où il brûle une chaleur excessivement intense, aurait exigé quelques modifications dans l'installation et la disposition du foyer. Aussi lors des premiers essais les grilles ont-elles fondu. On comprend que la Compagnie parisienne ait eu intérêt à faire ses expériences en employant le coke qu'elle produit comme résidu de sa fabrication. Mais, au point de vue de l'économie que le système Siemens peut procurer sur les autres modes de chauffage, à moins d'une disposition entièrement nouvelle, ce qui n'était pas possible dans l'espèce, la distillation de la houille, pour l'obtention du gaz d'éclairage, n'était pas le meilleur choix à faire parmi les industries connues, pour mettre en lumière les avantages du procédé dont il est question. M. Salvetat ajoute qu'à cet égard, si les chiffres obtenus en France n'atteignent pas ceux qu'ont fournis les expériences faites en Angleterre, cela tient à ce que généralement, chez nous, on sait mieux, dans les méthodes ordinaires, économiser la houille, dont la valeur, beaucoup plus élevée, influe plus fortement sur les prix de revient.

M. Jordan croit aussi que l'application de systèmes à la fabrication du gaz ne donnera pas de grandes économies, si on ne change pas le mode de construction des fours; les fours actuels sont trop coûteux d'établissement. La Compagnie parisienne a chauffé des fours ordinaires par le système Siemens; elle a pu mettre une huitième cornue à la place qu'occupait le foyer. Le produit de cette cornue représente à peu près toute l'économie obtenue.

MM. de Bossi, Brouilhet, Cazaux, Fell, Joyant, Le Roy-Desclosages, Pelegrin, Piet, Poncelet, Raspail et Thomas, ont été reçus membres sociétaires, et M. de Milly membre associé.

Séance du 3 Juin 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la lettre suivante que lui a adressée M. Couche, ingénieur en chef du contrôle des chemins de fer de l'Est et des Ardennes :

« Dans une discussion relative aux machines placées en queue des trains sur les fortes rampes, vous avez cité l'exemple de ce qui se pratique sur la rampe de l'Est belge, près de Givet. »

Le compte rendu ajoute : Un membre « dit que cette machine *pousse le train sans « y être attelée; ce sont les ingénieurs du contrôle qui ont recommandé ce « moyen.* »

« Bien loin de recommander un semblable moyen, contraire à toutes les règles, et de nature à causer des accidents sérieux, le service du contrôle s'est au contraire empressé de le faire interdire dès qu'il a été informé qu'on se dispensait d'atteler la machine de queue, pour hâter son dégagement. L'attelage est donc toujours effectué. »

M. FLACHAT donne ensuite lecture de la lettre suivante qu'il a reçue d'un ingénieur de ses amis, relative à la question de l'usure et du renouvellement des rails; cette lettre présente, sur les moyens de remédier à la destruction des rails, une solution plus simple, plus immédiate et moins dispendieuse que celle que M. Flachat avait proposée dans sa première étude sur cette question.

Elle a, en outre, le mérite d'indiquer une méthode rationnelle de calculer la limite de la somme à consacrer à l'amélioration des rails, sans excéder les dépenses actuelles de renouvellement.

Voici cette lettre :

« J'ai reçu et lu votre étude sur le renouvellement des rails. Il me semble que vous n'avez pas assez nettement conclu. Voici comment j'aurais posé la question :

Une voie Vignole coûte :

75 tonnes de rails à 200 fr.	15,000f
1t,66 chevillettes.	500
3t,20 éclisses.	820
0t,80 boulons.	370
Frais de pose et de dépose.	5,000

« On peut admettre que les chevillettes, éclisses et boulons, dureront 20 ans.

« Je fais deux hypothèses : celle de rails ordinaires durant 10 ans; celle de rails d'une fabrication améliorée durant 20 ans.

Dans chaque hypothèse, il y aurait une petite différence sur la valeur des matériaux à recouvrer. Je supposerai cependant, pour plus de simplicité, que la ferraille enlevée

se vende au prix uniforme de 100 fr. la tonne; dans le renouvellement, au bout de dix ans, les chevillettes, éclisses et boulons, n'auront atteint que la moitié de leur moins-value.

« On aura ainsi :

	Frais de renouvellement.		au bout de 10 ans.	au bout de 20 ans.
Perte sur les matériaux.	Rails.....	75t,00 à 100f	7,500f	7,500
	Chevillettes....	1t,66 à 200	166	0,332
	Éclisses.....	3t,20 à 159	254 40c	508 80c
	Boulons.....	0t,80 à 360	144	288
	Pose et dépose..		5,000	5,000
			13,064 40	13,628 80

13,064 fr. 40 c. à dépenser dans dix années représentent à 5 p. 100 une annuité de..... 1,038

13,628 fr. 80 c. à dépenser dans vingt ans..... 412

La différence est de..... 626

(J'ai laissé en dehors la question des traverses qui me paraissent constituer un objet complétement à part, et qui n'ont pas, nécessairement, la même durée que les rails).

« Si, par l'amélioration de la qualité des rails, on prolonge la durée de dix ans, on diminue les charges annuelles du renouvellement de 626 fr. Si, pour arriver à ce résultat, on doit augmenter le prix initial d'achat et que l'on veuille chercher de quel crédit on dispose pour cela, il faut supposer que la somme correspondante est amortie en vingt ans, en admettant d'ailleurs que le prix de la ferraille soit le même pour les deux sortes de rails, et que la valeur des fers en général n'éprouve pas de variation dans cette période.

« L'intérêt étant de 5 p. 100, il faut, pour amortir en vingt ans une annuité de 8 p. 100. L'économie de 626 fr. correspond à une plus-value d'achat d'environ 7,800 fr.

« En dépensant pour un kilomètre de voie simple 7,800 fr. pour obtenir une durée de vingt ans au lieu de dix, on serait au pair : or 7,800 fr. pour 75 tonnes représentent 104 fr. par tonne. En d'autres termes, on pourrait payer les rails 300 fr. par tonne au lieu de 200, cours actuel supposé, si on avait la certitude d'une durée de vingt ans.

« Si l'on supposait un système de fabrication, ou une nature de métal, tels que les rails pussent avoir toute la durée d'une concession de 99 ans, on pourrait, en faisant un calcul semblable, l'annuité de renouvellement en dix ans étant de 13,000 fr. environ, se passer la satisfaction d'employer, en supplément de prix d'achat des rails, une somme de 25 à 26,000 fr., ou payer les rails 533 fr. la tonne.

« Si l'on veut améliorer la voie ordinaire en portant le poids des rails à 40 kil., sans rien changer aux accessoires, et en achetant la qualité nécessaire pour obtenir une durée de vingt ans par une augmentation de prix, on serait au pair en payant les rails 285 fr. la tonne.

« Il me paraît, en outre, que vous n'avez pas insisté suffisamment sur la différence radicale qu'il y a entre l'usure des bandages et celle des rails; les premiers s'usent; les derniers sont détruits par dessoudage, exfoliation, et autres conséquences du

système actuel de fabrication, et bien avant d'être usés. Pour les bandages, il faut, dans les limites où le prix de l'unité de service n'est pas augmenté, accroître les conditions de durée des bandages par l'achat d'une matière plus résistante. C'est par des calculs analogues à ceux que j'ai faits pour les rails, qu'on doit chercher à se rendre compte de l'avantage de l'emploi des bandages en acier fondu.

Mais, pour les rails, la marge est un peu trop étroite. Jusqu'à ce que la durée des rails en acier fondu sur les voies courantes ait été éprouvée, et jusqu'à ce que le prix en soit descendu au taux qu'offrait le bon fer à l'origine des chemins de fer, c'est-à-dire 350 à 400 fr. la tonne, je crois que la seule chose à faire est de lutter par tous les moyens contre la destruction par exfoliation et dessoudage au moyen d'une certaine augmentation très-notable du prix d'achat.

« Il faut, en premier lieu, arriver à faire des rails en fer homogène pour qu'ils puissent se souder ; il faut que le soudage soit effectué avec tous les soins imaginables ; il faut que les rails soient aussi durs que possible ; la moins importante peut-être de toutes les conditions est la bonne qualité du fer, autant que, par bonne qualité du fer, on entend la résistance à la rupture. Sur une voie bien entretenue, avec un matériel dont les roues sont retournées en temps opportun, les rails ne cassent pas.

« Pour fixer ma pensée par des chiffres, j'organiserais une fabrication de rails homogènes en fer à grain, soudé le plus parfaitement possible, du poids de 40 kilog. en allouant à la fabrication actuelle une prime de 30 à 40 fr. par tonne, pour la perfectionner par l'emploi des minerais, de combustible, des appareils et des méthodes de travail les plus propres à obtenir le résultat voulu.

« Si la durée de vingt ans au lieu de dix ans était obtenue, les chemins de fer auraient encore réalisé une économie très-notable sur les frais de renouvellement, sans compter la plus-value de ferrailles de meilleure qualité.

« Je ne suis pas convaincu, comme vous, que l'élargissement de la table soit le moyen d'empêcher l'exfoliation des rails ; je crois que si vous empêchez les bandages de se creuser en gorge, vous augmenterez l'instabilité des voitures, sans préserver les rails, bien au contraire.

« A mon sens, il y aurait peut-être plus d'intérêt à rétrécir la table pour faire en sorte que les bords résistent mieux au cisaillement, et cela sans changer le bombement actuel.

« Mais ce que je ferais surtout, ce serait d'établir une solidarité complète entre les services de la voie et du matériel, de ne jamais laisser traiter une question de commande de machines ou de wagons sans la lier à celle de la conservation de la voie, et réciproquement.

« Je voudrais que les choses fussent constituées de telle sorte, que l'on ne cherchât pas seulement à obtenir le minimum de prix d'entretien des bandages, qu'on cherchât au contraire si, en augmentant cette dépense par des rafraîchissages beaucoup plus fréquents, on arriverait à trouver un très-sérieux avantage dans l'économie faite sur la destruction des rails. »

M. Flachat reconnaît sans peine le défaut de précision dans les conclusions de son étude sur l'usure des rails. Conclure dès à présent dans une question aussi ardue, envisagée d'une manière si différente par les ingénieurs qui en font l'objet unique de leurs préoccupations, lui a paru bien difficile.

Il a indiqué l'accroissement des dimensions du rail comme une nécessité, parce que sa flexion entre les points d'appui est bien constatée, même sous les roues des voitures de voyageurs et des wagons de marchandises aussi ; la destruction des voies est-elle

beaucoup plus rapide qu'on ne l'avait supposé. La faiblesse du rail est encore affirmée par ce fait, que les vitesses qui dépassent 70 kilomètres sont inconfortables pour les voyageurs; tout le monde a pu constater qu'on est très-mal aux vitesses extrêmes dans les voitures des trains express. Peut-être ce résultat est-il un peu dû à la légèreté du matériel, au faible écartement aux essieux; mais, en améliorant le matériel, on le rendra plus lourd et la faiblesse relative de la voie sera encore plus grande.

M. Flachat a ensuite indiqué l'accroissement de largeur de la table de roulement comme un moyen d'empêcher le creusement des bandages.

Enfin, il a proposé l'emploi de rails en fer très-dur et très-résistant comme un moyen d'en empêcher la destruction par toute autre cause que l'usure simple résultant de l'écrasement de la matière au point de contact du bandage avec le rail.

M. Flachat reconnaît que, sur ce dernier point, il n'a pas été précis, en ce sens qu'il n'a pas indiqué le moyen d'obtenir un pareil rail.

Quelques ingénieurs disent que ce moyen consiste en une simple amélioration du rail actuel; M. Flachat ne le pense pas.

Le rail fabriqué par les méthodes ordinaires ne peut être amélioré que *de trois* manières; en modifiant la qualité de la fonte, son affinage et le traitement mécanique du fer; mais la somme des améliorations qu'on peut attendre de chacun de ces moyens est bien faible et se trouve grandement dépassée par le progrès réalisé, tout d'un coup, avec la méthode Bessemer.

Les premières applications de cette méthode ont en effet immédiatement démontré la supériorité de résistance du fer affiné fondu sur le fer affiné par le puddlage et laminé.

Jusque-là on avait beaucoup compté sur le travail mécanique pour améliorer le fer.

Les corroyages successifs accroissent, il est vrai, dans une grande proportion, la résistance à la traction. C'est ainsi que le fer puddlé ordinaire n° 4, destiné à produire les fers de qualité, présente seulement une résistance de 15 à 18 kil. par millimètre carré; converti par un seul corroyage en fer n° 2 de gros échantillon, il résiste déjà à un effort de traction de 28 à 34 kil.; corroyé deux fois et laminé en ronds, il atteint 37 à 42 kil.; réduit par une façon de plus dans les laminoirs à guides à un diamètre de 4 à 5 millim, la résistance s'élève à 40 ou 45 kil.; enfin, passé à froid, à la filière et converti en fil de fer de un millim. de diamètre, sa résistance atteint 80 kil. par millim. de section.

Mais si les laminages successifs accroissent la résistance du métal, s'ils servent encore à compléter son épuration, ils ne peuvent en aucune façon lui donner la texture, l'homogénéité et le grain qui sont particuliers aux fers durs et tenaces. Le marteau produit cet effet; le laminoir, jamais.

Au contraire, le fer aciéreux obtenu aujourd'hui des mêmes fontes à fer, dans l'appareil Bessemer, par la fusion à haute température, coulé en lingots après un affinage, qui donne au produit les conditions de travail et d'emploi convenables, présente déjà, sans façons aucunes, une résistance supérieure à celle du fil de fer que le marteau élève ensuite de 25 p. 100. La texture des lingots présente en outre un grain très-fin, régulier et une grande homogénéité; le métal, qui les compose, réunit par conséquent, au plus haut degré, les qualités essentielles à un bon rail.

Ainsi, le procédé Bessemer a démontré que l'on pouvait obtenir, *à priori*, par la fusion, mieux que ce qu'on avait jamais obtenu par le travail mécanique. Il a montré en outre la valeur de l'action du marteau, l'inutilité du corroyage, et même l'incon-

vénient de soumettre le fer, à partir de sa fusion en lingots, à un travail à chaud exagéré; le travail des laminoirs étant réduit à la simple mise dans la forme d'emploi.

Or, ce procédé est appliqué dans plusieurs grandes usines françaises; il y sert, il est vrai, à la production d'un fer ayant des qualités aciéreuses; mais s'il ne réussit pas avec toutes les fontes à produire un métal susceptible de la trempe, si même il donne encore des produits capricieux, il réussit toujours à faire, avec les minerais exempts de phosphore, une matière dont la dureté et la résistance à froid, la cohésion, l'homogénéité et l'élasticité conviennent éminemment à l'emploi en rails.

Or il n'y a aucune raison pour que ce fer fondu en lingots soit plus coûteux que le fer puddlé par la méthode ordinaire, chaque jour d'expérience approche de ce résultat.

Le nouveau procédé est plus énergique que le puddlage au four ordinaire et à bras, à la fois comme température et comme agitation tendant à l'homogénéité du mélange; il compensera peut-être en déchet de métal ce qu'il économisera en combustible.

Le lingot obtenu exigera sans aucun doute des marteaux plus puissants, des laminoirs susceptibles de travailler un fer beaucoup plus dur. Sous ce rapport, les installations actuelles devront être remplacées, et il faudra d'importantes commandes pour couvrir ces nouvelles dépenses; mais, ce résultat une fois obtenu, on n'aperçoit ni dans la proportion des déchets des matières, ni dans le travail de fabrication, une cause d'augmentation de prix du rail actuel; loin de là, le procédé semble devoir être plus simple et plus rapide.

Si donc ce n'est pas aujourd'hui qu'il faut s'attendre à voir le rail en fer Bessemer descendre au prix du rail ordinaire, on conviendra que nulle raison ne semble s'opposer à ce qu'il en soit ainsi dans un avenir prochain.

Ces considérations, que M. Flachat avait en vue en rédigeant sa première note, ont pu réagir un peu sur sa pensée et influencer la netteté de ses conclusions. — Cependant il n'avait pas cru devoir les émettre, se contentant d'indiquer ce qu'il croyait immédiatement réalisable.

M. LE PRÉSIDENT, relisant les conclusions de la première note présentée par M. Flachat, fait remarquer que ses conclusions sont différentes de celles qui viennent d'être développées.

M. FLACHAT dit qu'en effet les conclusions des deux notes ne sont pas les mêmes. Dans la première, M. Flachat n'a pas voulu sortir du domaine des faits acquis; il s'est donc borné à indiquer parmi les améliorations qu'il croit nécessaires, celles qu'on peut demander immédiatement à l'industrie. La première note présente en conséquence des conclusions pratiques. Dans la seconde, au contraire, M. Flachat indique ce que les tendances actuelles de l'industrie métallurgique lui paraissent devoir réaliser dans l'avenir. Ces deux points de départ si différents devaient naturellement conduire à des déductions différentes.

M. LE PRÉSIDENT, revenant alors aux conclusions de la première note, demande s'il est bien démontré que les rails, tels qu'ils sont admis aujourd'hui par la plupart des Compagnies, sont réellement insuffisants. Si cette première question était résolue négativement, il ne serait pas nécessaire d'en augmenter le poids et le prix, ainsi que le propose M. Flachat.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Alquié pour indiquer l'opinion des ingénieurs du chemin du Nord sur la question posée.

M. Alquié dit qu'au chemin de fer du Nord la durée moyenne des rails paraît devoir être plus grande que l'indique M. Flachat.

On a déduit de nouvelles statistiques, faites avec soin, la probabilité d'une moyenne de 27 ans pour certains rails.

Ce chiffre est, du reste, fort difficile à établir. Il dépend d'abord de l'importance de la circulation; or, la circulation varie beaucoup, non-seulement par réseau et par ligne, mais même par fraction de ligne. Ainsi, sur le réseau du Nord, le nombre des trains, par vingt-quatre heures, était, en 1862, de 83 entre Paris et Saint-Denis; de 32 à 35 entre Saint-Denis et Creil; de 29 entre Pontoise et Paris; de 20 entre Creil et Amiens, pour se réduire successivement et ne plus être que de 7 et 9 entre Hazebrouk, Dunkerque et Calais.

L'absence de renseignements précis est encore une raison d'incertitude dans l'établissement de la moyenne.

Au Nord, on note avec soin les rails retirés des voies. M. Alquié a traduit en courbes les résultats des dix dernières années, en prenant pour abscisses les années, et pour ordonnées les quantités totales de rails retirés des voies depuis l'origine. Les courbes obtenues sont sensiblement paraboliques, et on en déduit une durée moyenne de vingt-un ans pour les rails à double champignon, et de vingt-sept ans pour les rails Vignole.

Le résultat est également influencé par la diversité des produits des différentes usines, et M. Alquié est d'avis que dans l'évaluation de la moyenne, on ne doit pas tenir compte des fournitures exceptionnellement mauvaises, parce qu'on devra pouvoir obliger les usines qui les ont produites à modifier leur fabrication et à reproduire les résultats obtenus dans les meilleures, ou tout au moins à s'en rapprocher.

Il n'est pas douteux, en effet, que la fabrication puisse être conduite dans tous les établissements, de manière à donner de meilleurs produits que la moyenne de ceux connus.

Ainsi, les rebuts dans les délais de garantie qui, à l'origine de l'application de cette clause dans les cahiers des charges, se sont élevés à 10 et 12 p. 100, n'ont pas atteint 0,6 p. 100 à l'usine de Wendel, et cependant la garantie est appliquée très-rigoureusement, puisqu'on compte les plus petites avaries sur des parties de ligne parcourues, en moyenne, par vingt trains par jour.

Les anciennes garanties, au contraire, étaient un peu illusoires en ce sens qu'on comptait les rails avariés de toute une fourniture répartie d'une façon quelconque sur le réseau, et posée, quelquefois en grande proportion, sur des parties de lignes neuves très-peu fréquentées, et n'ayant souvent que quelques mois d'exploitation à l'expiration de la garantie.

La fabrication a donc une grande importance, et pour peu qu'on la suive avec soin, on obtient des produits tels que le poids de 37 kilog. est parfaitement suffisant, surtout avec la forme Vignole. Les rails à double champignon, du même poids, sont moins résistants à cause de la nécessité où l'on se trouve d'avoir deux surfaces de roulement en fer dur, mais cassant. Tandis que le rail Vignole est constitué avec du fer à grain dans le champignon, et du fer à nerf dans le patin.

Ainsi, à poids égal, avec des sections dont les moments sont sensiblement égaux, et en employant les mêmes fers, la forme Vignole permet d'obtenir des rails plus résistants.

Les essais, au mouton, le prouvent de la manière la plus concluante.

Un rail Vignole placé sur deux appuis espacés de 1m,10, le patin en bas, peut

recevoir, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kil. tombant sur son champignon, d'une hauteur de $2^m,25$ à $2^m,50$. Dans les mêmes conditions, le rail à double champignon casse aux environs de $1^m,25$, et le rail Vignole retourné le patin en haut, également à $1^m,25$.

Une condition essentielle à la durée des rails, c'est la bonne soudure des éléments dont se compose le paquet, principalement des éléments de la couverture, et de cette couverture au corps du rail. Il est, en effet, très-reconnu que les rails ne s'usent pas, dans le sens propre du mot, mais bien qu'ils se détériorent tous. Les flexions répétées auxquelles ils sont soumis séparent presque toujours les parties supérieures des champignons. Il faut donc combattre la dessoudure.

Le moyen le plus efficace pour atteindre le but nous a paru être le triage minutieux des fers puddlés, et ensuite le classement convenable des natures de fer dans le paquet.

La pratique du chemin de fer du Nord lui a démontré que le paquet doit être ainsi composé pour la confection d'un rail Vignole :

1° Une mise supérieure, en fer corroyé d'une seule pièce, destinée à former la surface de roulement, en fer à grain fin, représentant, en poids, le cinquième de la masse totale ;

2° Sous le corroyé, deux mises au moins en fer puddlé à grain fin, bien exactement de même nature que la mise supérieure ;

3° Le tiers au plus de la partie inférieure en fer nerveux ;

4° Le reste du paquet, autant que possible, à grain fin ; mais avec une tolérance de fer métis, c'est-à-dire présentant un mélange de grain et de nerf.

En n'ayant ainsi que des fers de même nature en contact, dans le champignon, on réunit les plus grandes chances de soudure.

Les usines qui ont adopté franchement cette méthode de classement, ont donné les meilleurs rails.

Ainsi, deux usines anglaises ont fourni des rails Vignole au Nord ; l'une a observé le cahier des charges à la lettre, l'autre n'a pas voulu changer sa fabrication habituelle, la première n'a pas eu 1 1/2 de rebut dans le délai de garantie, l'autre a eu 12 p. 100.

La méthode de classement adoptée avec empressement par l'usine belge de Thy-le-Château et par M. de Wendel, leur a permis de fournir d'excellents produits.

M. Alquié pense que la supériorité des rails de l'usine de Wendel n'est pas seulement due au bon classement des fers, mais qu'elle tient aussi au mode de fabrication du corroyé, aux fortes dimensions du paquet et du laminage en deux chaudes.

Dans presque toutes les usines, les paquets, pour couvertes, sont composés de mises horizontales ; M. de Wendel les compose de mises verticales ; il en met treize dans un paquet.

L'usine anglaise qui a fourni les meilleurs rails a fait de même. La bonne influence de ce mode de fabrication est facile à saisir. On conçoit, en effet, que, malgré le soin apporté au classement, le corroyé puisse contenir des mises mal disposées à se souder au reste du paquet ; celles-là seules ne sont pas adhérentes si les mises sont verticales ; si, au contraire, elles sont horizontales, on court la chance d'avoir justement au contact du corps du rail une de ces mises non soudantes, et par suite un défaut général d'adhérence entre la couverte et le corps du rail.

M. Alquié présente à la Société une section de rail attaquée à l'acide dans laquelle on constate seulement deux mises sur 13 non adhérentes ; il y a, par conséquent,

dans ce rail, 11/13 du corroyé bien soudés. Si un de ces 2/13 s'était trouvé horizontalement à la partie inférieure du corroyé, la soudure eût été complétement mauvaise.

M. Alquié a cherché à vérifier le fait expérimentalement, et pour cela il a soumis aux coups répétés d'un martinet deux bouts de rails bien fabriqués provenant d'usines différentes. Dans l'un, le corroyé était composé de mises horizontales, il s'est détaché tout d'une pièce. Le corroyé de l'autre était à mises verticales, il a été impossible de le détacher, il s'est simplement criqué.

Enfin, le laminage tend à resserrer les mises du corroyé dans le premier cas, tandis qu'au contraire, avec les mises horizontales, il tend à les isoler.

Enfin, M. Alquié suppose que la composition chimique du fer a une grande influence sur la durée des rails, et les analyses qu'il a faites l'ont porté à penser que le phosphore pouvait, dans une certaine mesure, donner à la partie qui sert au roulement, les propriétés qu'on doit rechercher : facilité de travail à chaud, dureté à froid.

Ces analyses ont, en effet, démontré que les rails provenant des meilleures usines étaient ceux qui contenaient la plus grande quantité de phosphore. Toutefois, M. Alquié ne soumet ces résultats que sous réserves, les recherches dans ce sens n'ayant été ni assez multipliées ni peut-être assez précises.

M. le Président demande à M. Alquié s'il existe encore sur le réseau du Nord beaucoup de rails à double champignon de 37 kilog., et s'ils sont suffisamment résistants.

M. Alquié répond qu'il y a encore beaucoup de ces rails en service, qu'ils résistent bien, mais qu'ils ne valent pas le Vignole à cause du patin nerveux de ce dernier qui augmente beaucoup sa résistance. Le Vignole est d'ailleurs plus économique; il doit donc être préféré à tous égards.

M. Flachat objecte qu'il voit là une question de forme et non de qualité.

M. Alquié pense au contraire que ce n'est pas une simple question de forme, puisqu'il est impossible de faire, à poids égal et avec les mêmes qualités de fer, un rail à double champignon aussi résistant qu'un rail Vignole, parce qu'on est obligé, dans le premier, de constituer les deux champignons en fer à grain fin, et alors d'avoir un rail trop cassant, tandis qu'on met du fer nerveux dans le patin du rail Vignole, ce qui le rend plus résistant, ainsi que le démontrent les essais au mouton.

M. Flachat désirerait connaître l'opinion de M. Alquié sur les faits qu'il a cités dans sa note et dont il garantit l'exactitude. Ainsi, le chiffre de 12 ans pour la durée moyenne des rails est inscrit dans les rapports des conseils d'administration des Compagnies françaises et dans ceux de la Belgique. M. Flachat a la plus entière confiance dans les résultats indiqués par M. Alquié, mais ils sont spéciaux au Nord, et s'ils semblent meilleurs que la moyenne générale de ceux des autres Compagnies, cela tient sans doute à la persévérance avec laquelle ses ingénieurs ont lutté contre la routine des fabricants.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que les rails du Nord sont bien nouveaux, et l'avenir seul pourra dire s'ils justifieront les espérances que leur manière d'être actuelle permet de concevoir.

Il ne serait pas étonnant, du reste, qu'ils conservassent une supériorité réelle; le Nord a fait son renouvellement à une époque où l'attention des ingénieurs était appelée sur les imperfections de la fabrication en général; il a pu, par conséquent, porter une attention spéciale sur ce point, et il a dû en recueillir les fruits.

M. Alquié, tout en admettant comme vraie la moyenne de 12 ans, dit qu'elle résulte certainement pour lui de l'emploi de rails de mauvaise qualité.

M. Flachat ne croit pas qu'on puisse faire de grands progrès avec les méthodes actuelles, et la plupart des usines françaises ne peuvent pas les changer. Toutes composent leurs paquets pour rails avec deux sortes de fer, fer n° 1 pour le corps du paquet, fer n° 2 pour les couvertes. Ces deux fers exigent pour se souder des températures différentes; alors il est à peu près impossible de ne pas brûler l'un d'eux si on veut amener l'autre à son point de soudure. C'est là une difficulté dont il paraît bien difficile de sortir.

M. Alquié dit que la classification répond à cela, et que si les fers en présence sont bien de même nature, ils se soudent très-bien. Il lui est arrivé souvent de voir de très-mauvaises soudures avec des couvertes minces qui pourtant se chauffent facilement, tandis qu'on obtient de très-bonnes soudures chez M. de Wendel avec des couvertes de 0,04 d'épaisseur.

M. Flachat dit que ce résultat a d'autant plus d'intérêt qu'il a été fourni aux chemins du Nord de l'Espagne des rails fabriqués avec des couvertes de 4 centimètres d'épaisseur; mais qu'elles n'étaient pas soudées.

M. Alquié répond qu'il ne considère pas l'épaisseur de 4 centimètres comme une cause de bonne soudure; il a dit au contraire que, malgré cette épaisseur, l'usine de Wendel était parvenue à bien souder parce que les fers étaient bien assortis dans le paquet.

M. le Président fait remarquer que les arguments fournis jusqu'à présent dans la discussion ne font pas disparaître l'observation de M. Flachat, que la durée moyenne des rails n'était guère que de 12 ans. Elle lui semble au contraire confirmée par le renouvellement des voies qui a eu lieu sur presque toutes les lignes françaises au bout d'une dizaine d'années.

M. Alquié ne conteste pas le fait du renouvellement; mais il dit qu'il a été en grande partie motivé par la faiblesse des premiers rails qui ne pesaient que 30 kil. Il ajoute que beaucoup de ces rails employés au Nord dans les voies de garage existent encore aujourd'hui et qu'ils s'y comportent très-bien.

Sur 40,000 tonnes de rails de 30 kil. retirés des voies, la moitié était encore en bon état et un quart seulement était tout à fait hors de service.

Enfin, il pense que si d'autres compagnies, avec des rails d'un poids plus considérable, n'ont obtenu qu'une durée moyenne de 12 ans 1/2, cela tient, pour beaucoup, à ce que bon nombre des rails avaient été mal fabriqués.

M. Dallot, qui a étudié la fabrication des rails en Angleterre, a remarqué que les compagnies se sont vivement préoccupées de la question.

On ne trouve pas de voies Vignole sur les chemins anglais; le modèle généralement adopté est le type à double champignon.

M. Dallot cite particulièrement le Great-Northern, qui exige une garantie de six années; elle est peut-être moins minutieuse qu'au Nord français; mais M. Dallot la considère comme très-sérieuse.

Au bout de six années, on passe une revue générale de la fourniture, on constate tous les rails qui doivent être mis hors de service et on en exige le remplacement.

On a attaché une telle importance à cette garantie qu'on a fait des sacrifices pour l'obtenir. Ainsi à une époque où les rails étaient moins chers qu'aujourd'hui, on a consenti à payer 8 livres la tonne dans les usines du centre du Yorkshire.

Les rails fournis par ces usines étaient en moyenne retournés au bout de huit ans et hors de service au bout de 10 à 12 ans.

En général, en Angleterre, sur la partie courante des lignes, la moyenne de durée est de 6 à 10 ans ; mais aux abords des gares où la circulation est plus active et où se fait sentir l'action des freins, de même que sur les lignes de Londres au littoral de la Manche, la durée moyenne n'est guère que de 3 à 4 années.

M. Dallot ajoute qu'en Angleterre, on considère comme bons des rails qui durent en moyenne 10 à 12 ans : il est vrai qu'on surveille moins qu'en France la fabrication aux usines.

En résumé, les résultats anglais ne semblent pas justifier les espérances conçues au chemin de fer du Nord ; d'où il résulterait qu'une fabrication très-soignée, accompagnée d'une surveillance minutieuse, peut diminuer dans une grande proportion la quantité des rebuts des premières années, mais exercer peut-être moins d'influence qu'on ne pense, quoiqu'elle doive incontestablement en exercer sur la durée totale des rails.

M. Alquié pense que l'élévation du prix n'est nullement une raison de bonne qualité. La Compagnie du Nord a traité à la même époque avec deux usines anglaises, avec le même cahier des charges et au même prix. Une des deux a eu environ 1 1/2 p. 100 de déchet, quand l'autre en a eu 12, parce que les procédés de fabrication n'avaient pas été les mêmes.

Selon M. Alquié, la seule manière de traiter consiste à bien définir ses conditions et à mettre en adjudication, laissant ainsi aux fabricants la fixation du prix. C'est en procédant ainsi que la Compagnie du Nord est arrivée à obtenir de très-bons rails, les meilleurs qu'elle ait jamais eus, à 180 fr. la tonne, moitié du prix qu'elle payait autrefois les mauvais. M. Alquié est d'ailleurs convaincu qu'en offrant une plus-value à un fournisseur, celui-ci s'engagera toujours à fournir meilleur ; mais que lui-même, n'étant pas fixé sur les conditions de fabrication qui pourraient améliorer les produits, finira toujours par livrer ceux qui correspondent à sa fabrication courante.

M. le Président demande à M. Alquié si la durée des rails sur les sections voisines de Paris, ne permettrait pas de contrôler les durées moyennes qu'il espère pour l'ensemble du réseau.

M. Alquié répond que des statistiques sont tenues pour cela, mais depuis trop peu de temps pour qu'on puisse donner des chiffres. Néanmoins, il ne pense pas qu'une durée moyenne de 20 ans pour l'ensemble du réseau, corresponde à plus de 4 ou 5 ans pour les rails posés entre Paris et Saint-Denis.

M. Flachat demande à ramener la discussion sur les faits généraux.

A l'origine de l'établissement des chemins de fer, toutes les compagnies ont adopté des rails de 30 kil. suffisamment résistants pour les machines employées alors.

L'accroissement du trafic a forcé à augmenter successivement le poids des machines et il n'est douteux pour personne qu'aujourd'hui les rails de 30 kil. seraient tout à fait insuffisants. Mais est-on bien sûr que ceux de 37 kil. généralement adoptés maintenant ne deviendront pas trop faibles à leur tour ; sont-ils même assez résistants aujourd'hui ? M. Flachat ne le pense pas.

Il n'est pas d'abord aussi convaincu que M. Alquié de l'excellence des qualités qu'on peut obtenir avec les méthodes actuellement en usage, et, sans méconnaître l'intérêt que présente l'essai fait au martinet dans le but de rechercher la qualité de la soudure dans le champignon, il croit que l'expérience eût été plus concluante si on l'avait faite dans des conditions plus en rapport avec la manière d'être du rail dans la

voie; en le soumettant par exemple à des flexions multipliées. Les rails résistent, en effet, dans l'usage plutôt à la flexion qu'au choc.

M. Flachat croit que ce qui rendra surtout le poids de 37 kil. insuffisant, c'est l'augmentation du poids du matériel, augmentation nécessaire non-seulement pour traîner de plus lourdes charges, mais aussi pour avoir, aux grandes vitesses, la stabilité désirable. On est très-mal dans les voitures quand la vitesse dépasse 70 kilomètres, on est beaucoup moins secoué sur la machine.

Il est notoire que l'amélioration de stabilité des voitures et l'augmentation progressive de leur poids sont deux conditions solidaires, et que les accroissements de vitesse ne s'obtiendront qu'à l'aide de ces deux conditions.

Or, le poids de 37 kil. pour les rails ne paraît laisser, à M. Flachat, aucune marge pour l'augmentation de poids du matériel; il faudra donc, ou faire des rails plus lourds, ou les obtenir beaucoup plus résistants.

Les usines métallurgiques sortent de la fabrication ancienne; le procédé Bessemer se propage, et si, comme il y a lieu de le supposer, les prix subissent, dans un avenir prochain, un abaissement notable, comme la résistance du métal Bessemer est beaucoup plus grande que celle du fer ordinaire, il n'est pas douteux qu'on trouve bientôt avantage à demander, à cette nouvelle fabrication, les rails des voies principales.

M. Flachat trouve que le chemin de fer du Nord s'est engagé dans une bonne voie; qu'il obtient de l'ancienne fabrication tout ce qu'elle peut donner; mais qu'il ne se préoccupe pas assez de l'avenir du matériel, dont on ne peut pas beaucoup tarder à augmenter le poids.

M. le Président répond qu'ayant consulté son collègue de la voie, M. Couche lui aurait répondu que les rails actuels lui paraissaient laisser toute la marge nécessaire à l'augmentation de poids du matériel.

M. Alquié ajoute qu'en tous cas, il serait facile d'accroître notablement la résistance du rail avec un faible supplément de poids; qu'en ajoutant, par exemple 3 kilogr. ou 1/10 du poids à la tige verticale, sans rien changer au patin et au champignon, qui lui paraissent suffisants, la résistance sera accrue d'un tiers, et la valeur seulement d'un dixième. Or le rapport de valeur entre les rails ordinaires et les rails Bessemer est encore de 200 à 600.

M. le Président demande à M. Guillaume ce qui se fait aux chemins de fer de l'Est.

M. Guillaume répond que le chemin de l'Est a adopté le rail Vignole de 35 kil. pour toutes les nouvelles lignes, par raison d'économie, mais que ces lignes sont trop peu fatiguées et surtout trop nouvelles pour qu'on puisse se faire une idée de la durée probable des rails.

Il confirme d'ailleurs tout ce qu'a dit M. Alquié au sujet de la supériorité de résistance au mouton du modèle Vignole sur le type à double champignon du même poids.

M. le Président demande si les rails de la ligne de Paris à Strasbourg, qu'il croit du modèle à double champignon, ont été reconnus insuffisants.

M. Guillaume répond que les rails sont en effet du modèle à double champignon, qu'ils sont suffisamment résistants, et qu'on ne casse pas de rails sur cette ligne.

M. Alquié fait observer que le rail peut être trop faible sans casser, car tout le monde est d'accord pour reconnaître qu'il est détruit par détérioration, et que cette

détérioration est due surtout aux flexions répétées auxquelles il est soumis. — Il faut donc que non-seulement il ne casse pas, mais encore qu'il ne fléchisse pas trop.

M. Mathieu, sur la demande de M. le Président, indique que sur le réseau du chemin de fer du Midi, le rail à double champignon a été préféré au rail Vignole, parce qu'on a craint qu'avec le rail Vignole les chevillettes ne tinssent pas dans les traverses en bois de pin, qui devaient être à peu près exclusivement employées sur tout le réseau. On a été très-satisfait de la voie à double champignon; les coussinets tiennent bien sur les traverses, et la voie est très-solide.

On a trouvé dans la Compagnie du Midi, comme dans les autres Compagnies, des différences énormes entre les qualités de rails fournis par les diverses usines, les déchets dans les délais de garantie ont varié de 1 à 50 pour 100.

M. le Président demande ensuite à M. Forquenot de donner quelques renseignements sur les rails du réseau d'Orléans.

M. Forquenot répond que la ligne de Paris à Orléans a été construite avec rails à double champignon de 30 kil., ainsi que celle de Paris à Corbeil. Toutes les autres lignes du réseau ont été munies de rails plus lourds; les sections du centre ont été construites avec rails de 34 kil.; les lignes de l'ancienne Compagnie de Bordeaux, avec des rails de 35 kil.; celles de Tours à Nantes, avec rails de 34 kil.; sur la ligne de Paris à Orléans, la plus fréquentée de toutes, le renouvellement a été fait il y a huit ans, en moyenne, avec un rail à double champignon de 36 kil., avec éclisse en porte-à-faux; cette voie, très-fréquentée, est encore en très-bon état et résiste parfaitement, grâce à la bonne qualité de son ballast et à un entretien très-soigné; sur les lignes du centre, certaines parties de voies ont seize ans d'existence; le renouvellement s'effectue à raison de 30 kil. environ par an, et il faudra encore plusieurs années avant qu'il soit complété.

Sur la ligne de Bordeaux, le renouvellement a été effectué, il y a deux ou trois ans, entre Orléans et Tours; les anciens rails servent encore entre Tours et Bordeaux à l'entretien des voies dont l'âge est environ de treize ans en moyenne et dont l'éclissage a été fait il y a cinq ans.

Sur la ligne de Tours à Nantes, la section de Tours à Angers a environ *quinze* ans d'existence, et l'on y commence un renouvellement partiel pour servir à l'entretien courant.

M. Forquenot ignore quel est le chiffre des rails mis hors de service; mais il est certain que les quantités varient beaucoup suivant les usines, et ce fait a été observé avec certitude sur des voies établies avec des rails de provenance différente.

Le rail Vignole a été adopté depuis quelques années seulement sur les lignes du réseau central et de la Bretagne; il se comporte très-bien; on a seulement remarqué une tendance au déversement dans les courbes de petit rayon de 250 à 300 mètres, l'élargissement qu'on avait donné dans ces courbes a dû être diminué, et la solidité de l'assise augmentée par la pose d'une double chevillette à l'intérieur.

M. le Président demande à M. Chaperon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, invité à assister à la séance, si sur les lignes à fortes pentes il n'a pas observé une plus grande détérioration des rails dans le sens des pentes.

M. Chaperon répond que sur la ligne de Rhône et Loire, il y a des parties de voies en pente de 14 millimètres. Sur ces parties, la voie descendante a duré en moyenne six

ans. Il est vrai que les premiers rails n'étaient pas de très-bonne qualité; ils étaient d'ailleurs du modèle à deux champignons non symétriques, type que M. Chaperon considère comme le plus mauvais; enfin ils n'étaient pas éclissés. Il est probable qu'en éclissant et en surveillant la fabrication avec plus de soin, on obtiendra des résultats plus satisfaisants. Ce qui le prouve, c'est que sur un autre point de la même ligne où la pente atteint 26 millimètres, la voie du modèle à double champignon symétrique et éclissé se comporte mieux et paraît devoir durer beaucoup plus longtemps.

M. Chaperon estime, du reste, que, si le renouvellement devait avoir lieu périodiquement tous les 5 ou 6 ans, il y aurait avantage à employer des rails en acier Bessemer.

Il existe encore une pente de 20 millimètres sur la ligne à une seule voie de Dôle à Neuchâtel; mais la circulation y est peu active, et d'ailleurs la voie est trop nouvelle pour qu'on puisse déduire des résultats.

Sur les lignes en construction de la compagnie de Lyon, le modèle Vignole est aujourd'hui préféré au double champignon, par économie d'abord, et ensuite parce qu'il a une meilleure assiette sur la traverse, qu'il donne une voie plus douce et surtout plus facilement éclissable. Avec ce rail les éclisses simples donnent de très-bons résultats, tandis qu'avec le rail à double champignon, si on veut que le joint ne soit pas en porte-à-faux, il faut recourir au coussinet éclisse qui n'épouse jamais bien les formes du rail et donne généralement un éclissage médiocre.

M. Chaperon n'a remarqué dans la voie Vignole qu'un seul défaut, c'est une tendance au déversement; ce qui amène le rapprochement ou l'écartement des champignons des rails et modifie d'une manière fâcheuse la largeur de la voie. Mais on peut y remédier en ajoutant des selles de joint, et au besoin une ou deux selles intermédiaires qui, en étendant latéralement les appuis des rails sur les traverses, augmentent le bras de levier de la résistance. On aurait pu craindre un certain ferraillement; mais l'expérience montre qu'il ne se produit pas d'une manière appréciable.

M. Chaperon, envisageant ensuite la question de qualité des rails, dit qu'il a remarqué dans leur production trois périodes bien distinctes. Dans la première, antérieure à la création des grandes lignes françaises, les rails étaient excellents; ainsi sur la ligne d'Avignon à Marseille les rails étaient faibles, ils ne pesaient que 30 kil., et on ne les a remplacés que tout récemment. La ligne de Strasbourg à Bâle a été posée en rails de 25 kilog. seulement, qui ont également fait un bon service.

Plus tard la fabrication s'est gâtée; ainsi sur la ligne de Paris à Tonnerre les rails du poids de 37 kil. 1/2 n'ont pas duré en moyenne plus de 12 ans. Sur la ligne de Châlons à Lyon, ouverte depuis 1854, les voies ont été éclissées sans qu'on remplaçât les rails, et on espère une durée plus grande que 12 ans. Cependant M. Chaperon n'ose pas se prononcer; car les dernières années sont fatales. Il arrive, en effet, un moment où presque tous les rails périssent à la fois; c'est ce moment qu'il faut tâcher de reculer le plus possible, et il pense que la fabrication actuelle, qu'il considère comme la troisième période, est suffisamment en progrès sur la deuxième pour que l'on puisse espérer une durée moyenne de plus de 12 années.

M. Forquenot ajoute quelques renseignements sur les voies en forte rampe, sur la rampe d'Étampes qui cependant n'a que 9 millimètres, la voie descendante est beaucoup plus rapidement détériorée que la voie montante à cause de l'action répétée des freins. — Sur les premières sections du réseau central mises en exploitation, la voie

est en rails à double champignon, il fallut peu de temps après la mise en service, éclisser toutes les parties en rampes de 10 et 16 millimètres, les rails glissaient dans les coussinets, malgré les coins. Une partie en rampe de 16 millim., qui avait été posée avec le système Barberot a dû être aussi modifiée, le serrage des cales en bois n'était pas non plus assez énergique pour s'opposer au glissement des rails et au déplacement de la voie.

Séance du 17 Juin 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. LACOMBE au sujet de la réclamation de M. Couche, ingénieur en chef du contrôle au chemin de fer de l'Est et des Ardennes, fait observer que le procès-verbal de la séance du 15 avril avait mal reproduit l'observation qu'il avait faite; le contrôle avait demandé, en effet, *qu'on attelât* la machine de renfort placée à l'arrière des trains pour gravir les rampes.

M. LE PRÉSIDENT informe la Société qu'il a reçu :

De M. Ronna une brochure intitulée *Fabrication et emploi des phosphates de chaux en Angleterre,* dont M. Tronquoy donnera l'analyse dans une prochaine séance;

De M. Delongchant, membre de la Société, un mémoire *sur la conservation des grains*, renvoyé à M. Salvetat;

De M. Schuwab, membre de la Société, une note *sur un mode d'expérimentation de l'usure des rails,* renvoyée à M. Donnay.

La parole est ensuite donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 18 décembre 1863, de..... 606
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 107

713
A déduire par suite de décès..... 2

Nombre total des Sociétaires au 17 juin 1864..... 711

Les versements effectués pendant le premier semestre 1864 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc...	13,334 50	
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable.....	10,247 »	23,581 50
Il reste à recouvrer en cotisations et amendes.....		11,490 »
Total de ce qui était dû à la Société.....		35,071 50

Au 18 décembre 1863, le solde en caisse était de.....	1,091 45	
Les versements effectués pendant le premier semestre 1864 se sont élevés à.....	23,581 50	24,672 95

Les dépenses du premier semestre se sont élevées à :

1° Pour achat de 36 obligations nominatives.....	10,592 35	
2° Dépenses pour l'extension du local.....	1,572 65	20,834 65
3° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc.....	8,669 65	
Il reste en caisse à ce jour.....		3,838 30

dont.....	3,813 40	pour le service courant,
et.....	24 90	pour le fonds social.
Somme égale.....	3,838 30	..... 3,838 30

La Société a en outre en portefeuille sur son fonds social inaliénable 243 *obligations de chemins de fer ayant coûté*.....	72,962 90
Plus sur le fonds courant 20 *obligations ayant coûté*.....	5,996 »
Total.....	78,958 90

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés.

M. LE PRÉSIDENT adresse au Trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur la question de l'usure et du renouvellement des rails.

M. ALQUIÉ fait remarquer que le procès-verbal de la précédente séance (page 127, 6e alinéa) ne rend pas bien l'opinion exprimée par M. Couche à M. Petiet sur la suffisance de la voie du Nord. M. Couche pense qu'actuellement la voie du Nord est bien proportionnée aux conditions de travail qu'elle doit supporter, et qu'il n'y a pas lieu d'imposer une limite au poids du matériel. La voie trouve une garantie suffisante dans la condition à laquelle le matériel lui-même est soumis, de ne pas détruire ses bandages.

M. SEVÈNE, *ingénieur en chef de la voie au chemin de fer d'Orléans*, invité à assister à la séance, confirme ce qui a été dit à la dernière séance au sujet d'une commande de rails en acier Bessemer pour remplacer les rails actuels sur la voie descendante de la rampe d'Étampes. Les rails ordinaires s'usent sur cette voie avec une rapidité extrême, par suite de l'action continuelle des freins; plus de la moitié des rails succombaient pendant le délai de garantie imposé aux usines.

M. ALQUIÉ comprend que dans des conditions spéciales telles que celles qu'on rencontre dans la rampe d'Étampes, il soit nécessaire d'avoir recours à des rails d'une fabrication spéciale, mais il maintient ce qu'il a dit précédemment, c'est-à-dire que,

dans les conditions ordinaires, les rails actuels, avec une surveillance convenable de la fabrication, sont parfaitement suffisants.

Il fait remarquer d'ailleurs que, dans le cas particulier, il n'y a probablement pas ce qu'on peut appeler de l'usure proprement dite, il y a destruction du rail par dessoudure et exfoliation.

M. Vuigner dit que le fait signalé par M. Alquié s'est présenté sur les rampes de Commercy. L'action du frein produisait des dessoudures et des exfoliations telles, que chaque jour on ramassait sur la voie des copeaux de fer d'un poids relativement considérable.

M. Sevene fait observer que le fait qu'il a cité pour la rampe d'Étampes est spécial à cette rampe, qui se trouve dans des conditions tout à fait exceptionnelles par sa grande fréquentation et sa forte déclivité. Dans son opinion, le fer ordinaire suffit parfaitement pour les voies courantes, et l'emploi de l'acier sera limité, pour bien longtemps du moins, aux parties de voies placées dans des conditions d'usure exceptionnelles. Les fortes rampes, les abords des stations, les pièces de changements et de croisements, les voies diagonales, tel est le domaine à conquérir par l'acier fondu. On ne peut songer, quant à présent, à l'employer dans les voies ordinaires, même très-fréquentées.

M. Petiet fait observer que M. Flachat avait signalé la flexion des rails comme l'une des causes les plus certaines de leur détérioration; jusqu'à présent dans la discussion on n'a pas parlé de cette circonstance qui semble pourtant devoir être prise en considération.

M. Forquenot croit que la flexion peut contribuer à la dessoudure des rails de la rampe d'Étampes, car non-seulement cette rampe précède immédiatement une station à laquelle tous les trains s'arrêtent, mais encore les trains y arrivent complétement chargés, de telle sorte que, pour ne pas dépasser la station, il faut faire agir les freins à plusieurs reprises.

M. Flachat ne pense pas que les usines à fer consentent, toutes, au triage du fer n° 1 entrant dans les paquets destinés à la fabrication des rails; il ne voit donc là qu'un remède exceptionnel à l'insuffisance de résistance des rails. M. Alquié s'est adressé à celle de nos forges qui a le minerai le plus égal, qui par suite peut fabriquer le fer d'une qualité régulière, et elle a pu consentir à mettre de côté les fers qui n'étaient pas acceptés par les agents de la compagnie parce que cette condition ne lui était pas onéreuse, tandis qu'elle le serait pour la plupart des autres forges.

M. Flachat dit qu'il croit prématuré de substituer le rail en fer fondu au rail actuel qui, sur les neuf dixièmes des lignes où il est placé, suffit au service qui lui est imposé; mais que si, pour les parties de lignes très-fréquentées où le rail est détruit très-promptement, il n'existe pas de moyen d'en améliorer la fabrication sans sortir du procédé actuel, on est conduit, pour augmenter sa résistance, à en accroître le poids.

M. Ledru, *directeur des travaux au chemin de fer de l'Est*, croit que le mode de fabrication des rails indiqué par M. Alquié peut être admis par toutes les compagnies, et accepté par les usines. En faisant un cahier des charges sérieux et en tenant la main à son exécution, on atteindra toujours le résultat désiré.

M. Alquié fait remarquer que, d'après ce qu'a dit M. Flachat, il semblerait croire que les fers à grains, qui sont demandés par le chemin de fer du Nord pour les couvertures de ses rails, sont des fers supérieurs, tandis qu'au contraire ce fer n'est pas de première qualité dans le sens ordinaire. Ainsi, il croit que les minerais phosphu-

reux conviennent parfaitement pour la qualité spéciale aux surfaces de roulement des rails, ce minerai se trouve presque partout en quantité considérable et presque toujours à la surface du sol. Quant au mode de fabrication exigé par la Compagnie du Nord, il a été adopté par toutes les usines avec lesquelles on a traité. Une usine anglaise, celle de Dawlais seule, avait refusé d'exécuter le cahier des charges, et elle a fourni des rails en fer à nerf qui ont donné des résultats déplorables, puisque, pendant le délai de garantie, ils ont donné 42 p. 100 de rebut; de sorte qu'elle a eu à payer de fortes sommes à la Compagnie du Nord.

Mais, depuis, elle a reconnu que le mode de fabrication qui lui avait été prescrit était plus avantageux pour elle que ses anciens errements, et elle a déclaré qu'elle l'avait adopté, et à l'appui de ce qu'elle disait, elle montrait des échantillons que M. Alquié considère comme étant d'excellente qualité.

En somme, un choix bien fait des fers puddlés n'augmente pas sensiblement les frais de la fabrication.

M. Flachat dit que les usines exécutent fidèlement les cahiers des charges qu'on leur impose; mais il n'y a pas de Compagnie, sauf celle du Nord, qui se réserve de choisir elle-même les fers qui doivent entrer dans la composition des paquets. Il repousse également les fers phosphoreux et siliceux. Plus le fer est pur, plus il a de qualité. Le fer à grain est probablement mieux affiné que le fer fibreux; il résiste mieux à une haute température, et c'est probablement ce qui donne aux rails dont parle M. Alquié leur qualité.

Les diverses usines de France fabriquent le fer n° 1, à rails, avec des fontes obtenues au moyen d'un certain mélange de minerais. La condition imposée par la Compagnie du Nord pouvant avoir pour conséquence de changer, dans certaines de ces usines, la fabrication de la fonte, il est fort douteux qu'elle soit acceptée comme elle a pu l'être dans une usine qui produit la fonte avec une seule nature de minerai d'un très-bas prix.

M. Alquié fait remarquer qu'il ne veut pas dire que le fer qu'il a recherché pour constituer la table de roulement des rails est, d'une manière absolue, de mauvaise qualité, mais bien du fer d'une qualité spéciale à cet usage, et impropre à d'autres.

A la vérité, le fer phosphoreux qu'il croit devoir employer est cassant à froid, mais il soude bien, ce qui est une condition importante, puisque la plupart des rails périssent par défaut de soudure. On peut adopter un champignon cassant, à la condition de mettre un patin résistant, en fer nerveux.

M. Ernst demande si l'on a rebuté beaucoup de métal.

M. Alquié fait remarquer que les usines savent produire ce qu'elles veulent; les ouvriers peuvent se tromper en un seul moment, c'est à la fin du puddlage, qui doit être arrêté exactement au point convenable.

Or, la qualité de fer à grain nécessaire ne représentant pas plus du tiers du paquet, et cette qualité pouvant y être néanmoins employée dans la proportion des deux tiers, il en résulte une marge très-suffisante pour assurer l'emploi de tous les produits obtenus.

M. Forquenot demande que l'on s'entende sur ce qu'on appelle le bon et le mauvais fer. M. Flachat semble dire que le fer, pour être bon, doit être aussi pur que possible, tandis que M. Alquié appelle bon fer, dans le cas actuel, le fer qui, selon lui donne les rails les mieux soudés et les plus résistants pour le service auquel ils sont soumis.

M. Flachat fait observer que la forge qui a fait la fourniture citée par M. Alquié

n'emploie qu'une seule nature de minerai pour la production de la fonte, tandis que les autres forges emploient des fontes produites par du mélange de minerais, dont la valeur varie entre 6 francs et 20 francs le mètre cube; et si on demandait à ces dernières de permettre aux agents des Compagnies de choisir le fer, cela pourrait forcer de changer l'allure de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux.

Il est à croire que bien peu de forges accepteraient une telle condition.

M. Flachat ne voit pas dans les procédés actuels de moyen bien précis d'améliorer la fabrication pour augmenter la durée des rails. Il faudra donc arriver, dans un avenir éloigné, peut-être, mais certain, à l'accroissement de la résistance, afin que le rail ne fléchisse pas; c'est la flexion qui est le plus grand inconvénient des rails actuels; c'est elle qui détruit les rails, et qui s'oppose à l'augmentation de la vitesse parce que cette vitesse ne peut être augmentée qu'autant que le poids du matériel roulant le sera également.

Il croit que, dans l'état actuel des voies et du matériel, il serait dangereux de céder aux exigences de vitesse, dont le besoin est d'ailleurs exceptionnel, tandis qu'on le représente comme très-général. Mais ce besoin existe cependant, et c'est pour la partie des lignes où il existe, et où existe en même temps un mouvement considérable, là, en un mot, où les rails actuels sont promptement détruits, qu'il y a lieu de tourner ses vues vers l'emploi d'un fer plus résistant.

Or, depuis dix ans, un procédé simple, d'une réussite régulière, qui semble être l'avenir du fer, a été pratiqué; il faut s'attacher à le développer et à le répandre.

M. Alquié fait observer que les rails en métal Bessemer sont vendus aujourd'hui un prix qui est trois fois celui des rails ordinaires, et dans ces conditions on ne peut songer à les appliquer d'une manière générale, mais si la plus-value était seulement de 25 p. 100 de la valeur actuelle des rails, M. Alquié serait disposé à les accepter. Déjà même, malgré leur prix élevé, il les emploie à peu près exclusivement pour les changements et croisements de voie.

M. Morandière, *ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé de la direction des travaux au chemin de fer d'Orléans,* ne partage pas l'avis de M. Flachat, qui considère l'usine de M. de Wendel comme possédant un minerai exceptionnel. Toutes les usines peuvent fournir de bons rails si on exige qu'elles remplissent exactement les conditions imposées par les cahiers des charges. Au reste, M. Sevène a bien voulu recueillir des chiffres qui confirment ce fait, et qu'il communiquera à l'assemblée si elle le désire.

M. Sevène indique que la voie primitive de Paris à Orléans, formée de rails de 30 kil., a été renouvelée au bout de 13 ans, et remplacée par une voie du nouveau modèle, c'est-à-dire en rails de 36 kil. éclissés. Cette dernière voie est encore en usage; elle date moyennement de huit ans, et un cinquième des rails, seulement, a été remplacé.

Sur les prolongements, les voies primitives subsistent encore, et leur situation se résume ainsi qu'il suit :

La voie du centre (Orléans, Bourges), en rails de 36 kil. non éclissés, a dix-sept ans de service. La proportion des rails remplacés est de 35 p. 100, il y a lieu de remarquer que, sur cette voie, le remplacement représente plus que l'usure, parce que les renouvellements effectués n'ont pas servi seuls à l'entretien de la section dont il s'agit. Ils ont alimenté en outre la section voisine;

La voie d'Orléans à Bordeaux, en rails de 33 kil. éclissés après coup, date de quatorze ans et demi en moyenne, et les rails remplacés représentent 34 p. 100 de la longueur total·;

La voie de Tours à Nantes, en rails de 34 kil. non-éclissée, remonte à quatorze ans, et la proportion des renouvellements est de 34 p. 100.

En rapprochant ces divers résultats, et en les ramenant pour ainsi dire à une unité commune, eu égard aux trafics respectifs des lignes concédées, on est conduit à cette conclusion que pour un trafic modéré, tel que le trafic moyen de l'ancien réseau d'Orléans, qui est d'environ 45,000 fr. par kilomètre, la durée des rails, en double voie, doit dépasser vingt années.

On ne se trouve donc pas dans l'alternative que M. Flachat posait comme obligatoire, ou d'une augmentation du poids des rails ou de l'emploi d'un métal supérieur.

L'amélioration de la qualité du fer à rails n'en est pas moins un objet de la plus grande importance. Toutes les Compagnies font leurs efforts pour l'obtenir. La Compagnie d'Orléans a augmenté, dans ce but, les garanties imposées par les cahiers des charges; elle en exige l'application rigoureuse. Mais, au point de vue métallurgique, elle laisse une grande liberté aux usines dans leurs procédés de fabrication.

M. Tresca fait observer que M. Flachat attribue la mauvaise qualité de la voie à la flexion des rails et que c'est certainement là une des causes de destruction. Pour éviter cet inconvénient, M. Flachat propose l'emploi du fer ou métal Bessemer; mais est-il certain que les rails fabriqués avec cette matière fléchiront moins et que, par suite, il sera possible d'augmenter les vitesses?

Il résulte d'expériences faites qu'au contraire la flexibilité, l'élasticité du méta Bessemer est plus grande que celle du fer ordinaire, de sorte que si, par suite de son homogénéité, ce métal résiste mieux à la détérioration provenant des défauts de soudage, il est moins démontré qu'il fera nécessairement un meilleur usage que les rails fabriqués d'après la méthode très-intéressante indiquée par M. Alquié.

M. Flachat, répondant aux deux précédentes opinions, dit que si les rails doivent durer 30 ans, ou même 20 ans, comme on vient de le dire, la question du renouvellement n'a pas d'importance, et il se félicite que l'espèce d'enquête qui se produit ait amené l'expression de cette opinion de la part des ingénieurs à même de se prononcer, à cet égard, avec le plus de compétence.

Cependant l'expérience a démontré qu'en Belgique et en France, la durée moyenne avait été de 12 ans. De plus, il faut considérer tous les éléments de la voie; les traverses doivent être renouvelées en 14 ou 18 ans; en 4 ou 5 ans, les coussinets sont entamés; en 2 ou 3 ans, les trous des boulons d'éclisses sont agrandis; la voie se relâche et l'axe de roulement se déplace de 15 à 20 millimètres sur des longueurs qui ne dépassent pas 50 mètres; la voie prend ainsi en quelques années une grande mobilité; c'est là une cause d'altération qui agit d'autant plus rapidemeut que la mobilité est plus grande; et, bien que, sur la ligne d'Orléans, il n'y ait eu que 1/5 de rebut en huit ans, d'où on déduit une durée de 20 à 30 ans, il est à craindre que dans quelques années, la destruction marche beaucoup plus rapidement et que la durée ne soit pas de 20 ans comme il serait à désirer qu'elle fût. On ne peut pas compter d'ailleurs sur le retournement des rails qui est rendu difficile, tant par la déformation qui empêche le rail de se bien loger dans le coussinet, que par l'altération qui se produit au contact du coussinet.

Il est donc impossible de conclure pour l'avenir d'après le passé. Au reste, M. Flachat pense que l'intérêt immédiat de la question est l'amélioration du rail.

Répondant à l'observation de M. Tresca, M. Flachat fait observer qu'il résulte des expériences citées par M. Kirkaldy, que le fer obtenu par le procédé Bessemer est aciéreux et plus résistant que le fer ordinaire. Or, l'acier plie plus que le fer. Mais à

dimensions égales et sous un poids égal, loin de plier plus, il plie moins. L'acier résiste, à la flexion, au delà du fer en proportion de sa supériorité comme résistance à la traction. De plus, il peut plier davantage sans que sa flexion soit permanente.

Ainsi, un rail en acier, ayant la dimension du rail actuel, pliera moins que celui en fer sous le même poids.

M. Ledru, en ce qui concerne la durée future des rails, partage l'avis de M. Flachat, il ne faut pas se faire d'illusion sur cette durée si pendant quelque temps, le remplacement est faible, il arrive un moment où la destruction se produit rapidement et simultanément, M. Ledru ne peut citer de chiffres à l'appui de cette assertion, mais c'est un fait qu'il a constamment remarqué.

La rapidité de l'usure varie avec la nature du ballast, les plus mauvais ballasts sont les ballasts argileux et ensuite les ballasts contenant du sable fin.

M. Alquié fait observer que les courbes indiquant l'usure des rails qu'il a montrées dans la précédente séance, et qui affectent toutes la forme parabolique prouvent nettement ce qui vient d'être dit par M. Ledru. Ces courbes montrent que, pour une durée moyenne de 20 ans, la moitié des rails devront encore être en service à la vingtième année.

M. Sevène fait observer que la durée d'un rail est un fait sans signification, si l'on ne place à côté le trafic correspondant. Quand il a énoncé le chiffre de 20 ans de durée, il a mis en regard le chiffre de 45,000 fr. de trafic par kilomètre, et il ne faut pas séparer l'un de l'autre. Il ne conteste nullement l'usure progressive des rails, qui est un fait notoire; mais, rien, dans les explications qu'il a données ne contredit ce fait. Si l'on veut bien se rappeler les résultats qu'il a cités, à savoir que des voies supportant une circulation plus que moyenne, et établies dans des conditions moins solides que celles adoptées aujourd'hui, durent depuis 15 et 17 ans avec moins d'un tiers d'usure, et font encore un bon service, on ne trouvera certainement pas qu'il y ait témérité à prévoir une durée de 20 ans pour des rails établis plus solidement et supportant une circulation moindre.

Répondant à un membre qui demande des renseignements sur la qualité du ballast des voies citées, M. Sevène indique que, sur la voie du Centre, le ballast est de très-bonne qualité, qu'il est de bonne qualité sur la ligne de Nantes, et assez mauvais sur la ligne de Bordeaux.

M. Petiet fait remarquer que, dans la discussion qui vient d'avoir lieu, il n'a pas été tenu compte de l'observation faite par M. Flachat sur la fatigue qu'éprouvent les voyageurs lorsque la vitesse des trains devient trop grande; cette observation est exacte et les cahots se font surtout sentir au passage des stations, où il y a des aiguilles et des croisements; il est très-essentiel que les voies principales conservent leur tracé théorique, soit en ligne droite, soit en courbe à grand rayon. Il n'en est pas toujours ainsi et cela contribue pour beaucoup aux chocs que ressentent les voyageurs. L'usure rapide des rails et des autres pièces des croisements amène le même inconvénient, aussi serait-il désirable de voir l'acier remplacer le fer dans tous les croisements qui sont en pleine voie.

M. Alquié reconnaît que les croisements donnent lieu à des chocs; mais il croit difficile de parer d'une manière complète à cet inconvénient. Ainsi, un croisement neuf étudié en vue d'être parcouru sans choc par un bandage neuf donnera lieu à un choc avec un bandage usé, et réciproquement, si le croisement a une certaine usure, il y aura choc au passage d'un bandage neuf.

M. Flachat est d'avis qu'il faut que les bandages soient bien entretenus; il faut

aussi que les croisements soient bien disposés; mais il importe avant tout que la voie soit très-résistante, car la vitesse moyenne n'est pas la vitesse réelle; les pentes et les rampes l'accroissent ou la ralentissent, et il en sera ainsi indépendamment de la puissance des machines tant qu'on voudra obtenir des vitesses maxima.

Il est bien difficile de déterminer toutes les causes de l'agitation qui se manifeste dans les trains à grande vitesse. Il est clair qu'elles sont multiples; mais l'état de la voie en est une, et, quelque soignée que soit la voie actuelle, il y a une limite que le matériel actuel ne permet pas de dépasser sans incommodité pour le voyageur.

M. Petiet fait remarquer que dans les sections où le chemin est en bon état, la voie n'est pour rien dans le mouvement de lacet; on doit attribuer ce mouvement aux bandages creux, au matériel trop large et trop long par rapport à la distance des points d'appui sur les voies, à de mauvaises suspensions, à la trop grande hauteur du centre de gravité; mais l'effet de ces différentes causes est augmenté par un mauvais état de la voie.

M. Flachat fait observer que la voie large adoptée au Great-Western par Brunel, donne plus de stabilité aux véhicules.

M. Forquenot dit que ce fait est exact; mais c'est que le matériel n'est guère plus large que la voie, et qu'il y a moins de porte-à-faux à droite et à gauche des points d'appui sur les voies ordinaires. On arrive à diminuer beaucoup le mouvement de lacet en serrant autant que possible les tampons les uns contre les autres, tout en leur laissant une certaine flexion. Quant à l'attelage, il doit être rigide.

M. le Président, avant de lever la séance, remercie MM. les ingénieurs qui ont bien voulu assister à la réunion, et prendre part à la discussion.

MM. Asselin, Desgoffe, Deville, Didierjean, Leloup, Lepeudry, Nehse, Richemond; Goutaudier, Daret-Derville, Falguerolles, Bertrand, Bullot et de Jubécourt, ont été reçus membres sociétaires.

NOTE

SUR

L'EXPLOITATION DU SEMMERING

DE 1860 A 1863,

PAR M. DESGRANGE.

Par diverses notes publiées en 1862 et 1863, par les *Annales des mines* et le *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, nous avons fait connaître les conditions dans lesquelles avait lieu l'exploitation du Semmering, et donné les résultats comparatifs des dépenses de traction de cette partie de la ligne avec celles des autres sections du réseau des chemins du sud de l'Autriche, pendant l'année 1860.

Aujourd'hui, nous sommes à même de fournir les mêmes renseignements pour les années 1861, 62 et 63. — On verra que les améliorations considérables apportées dans le service de la traction de toutes les parties du réseau sont encore plus frappantes en ce qui concerne spécialement le Semmering.

Si la dépense de cette dernière section est encore une charge pour la Compagnie, on conviendra du moins qu'elle est de nature à faire tomber les craintes qu'on s'était plu à répandre, à une certaine époque, sur les conséquences ruineuses que l'exploitation de cette partie difficile du réseau devait amener dans les revenus de la Compagnie.

Assurément, les difficultés de traction sur le Semmering sont très-grandes; mais si on considère que, d'une part, la longueur de cette section (41 kilomètres) ne représente que la cinquante-sixième partie de l'ensemble des lignes actuellement en exploitation ou concédées [1], et, de l'autre, les améliorations obtenues jusqu'ici, on comprendra que les dépenses dues à ces difficultés ne peuvent avoir une influence bien sensible sur l'ensemble de l'exploitation.

		Concédées.	Exploitées.
1.	Réseau sud-autrichien.....	2.318 kil.	1.869 kil.
	— lombard et Italie centrale...	756	631
		3.074 kil.	2.500 kil.

Nous devons même constater que les frais de traction du réseau sud-autrichien, malgré ses difficultés, sont bien au-dessous de ceux de toutes les autres lignes de l'Autriche, qui, cependant, sont placées dans des conditions plus favorables que le réseau du sud.

Nous avons vu que la dépense de traction et d'entretien du matériel par train et par kilomètre, sur le Semmering, avait été en 1860 de 2 fr. 85 c., lorsque la même dépense, sur les autres parties du réseau du sud, avait été de 1 fr. 89 c.

Rapprochant ces chiffres des charges de trains correspondantes, nous étions arrivés à ces résultats :

« 1° Que pour les trains de voyageurs composés de 15 à 16 voitures « pesant 100 tonnes (non compris machine et tender), la dépense sur le « Semmering était de 2 fr. 85 c., tandis que la dépense des mêmes trains, « sur les autres parties de la ligne, était de 1.89, soit 50.68 p. 100 en « plus;

« 2° Que pour les trains de marchandises qui, à cette époque, devaient « être divisés en 3 parties (soit 350^t : 3 = 117 tonnes), la dépense était « de 2.85 × 3 = 8.55 par train complet, alors que la dépense du même « train, sur les autres sections, n'était que 1.89, soit le rapport de « 1 à 4.52. »

Mais, de 1860 à 1863, ces résultats ont été bien modifiés, ainsi qu'on le verra.

On sait que la cause principale qui élevait les dépenses provenait de l'entretien coûteux des machines employées et de *leur défaut de puissance,* qui exigeait la division de chaque train en trois parties.

C'est donc principalement à la modification des machines qu'il faut attribuer les améliorations qui ont été successivement apportées depuis quatre ans.

En effet, en 1860, les trains du Semmering ont été faits avec les machines primitives exigeant, comme nous l'avons dit ci-dessus, la séparation de chaque train de marchandises en trois parties.

En 1861, la modification de six de ces machines a permis de ne diviser qu'en deux une partie de ces trains; mais la dépense n'en a pas moins été réduite de 16 p. 100, malgré une augmentation de charge; le prix de 2 fr. 85 c. étant descendu à 2 fr. 40 c.

En 1862, la modification d'un plus grand nombre de machines a permi de faire passer les deux tiers du nombre des trains de marchandises en deux parties (175 tonnes brutes, non compris machine et tender, au lieu de 117), et le prix de traction n'en est pas moins descendu à 2.29, soit une réduction de 20 p. 100 sur le chiffre de 1860.

Enfin, en 1863, tous les trains de marchandises n'ont plus été divisés qu'en deux parties. La dépense par train, avec charge plus considérable, n'a pas été augmentée; elle a subi, au contraire, une nouvelle réduction,

et n'est plus que de 2.155, présentant une amélioration de 24.40 p. 100 sur celle de 1860.

Il résulte de ces chiffres qu'en tenant compte de l'augmentation de charge des trains de marchandises et de la réduction de dépense, *l'économie de traction réalisée sur le Semmering depuis* 1860 *est de* 50 *p.* 100.

Pour aller au-devant de toute objection, je dois encore faire observer que nous sommes fondés, dans les conditions où nous sommes placés, à appliquer aux trains de voyageurs de tout le réseau, comme à ceux de marchandises, le prix moyen de traction, car les premiers, dont le nombre est relativement bas, ont généralement une forte charge (100 à 125 t.). En outre, ces trains sont conduits par des machines *à* 4 *roues couplées*, sur la plupart des sections, et par des *machines à* 6 *roues couplées* sur les autres; en sorte que, tout compte fait, et eu égard aux différences de vitesse, les dépenses des deux natures de train se compensent.

En examinant le tableau n° 1 (page 13) des dépenses, que nous donnons plus bas, on trouvera aisément le rapport que présentent la dépense de traction du Semmering et celle des autres lignes.

Ainsi, les trains de voyageurs de 14 à 15 voitures, passant le Semmering en une fois, ont coûté en 1863 2ᶠ.155 par kilomètre, tandis que la moyenne des dépenses de traction, sur les autres parties du réseau, à l'exception de la Vénétie et du Tyrol, dont les comptes sont tenus séparément, est de 1ᶠ.238, soit une différence de 0ᶠ.917 ou 74 p. 100.

Pour les trains de marchandises, la dépense de chaque demi-train (175ᵗ) a été sur le Semmering, en 1863, de 2ᶠ.155, soit pour le train entier $2^f.155 \times 2 = 4^f,31$, au lieu de 8ᶠ.547 en 1860.

Or, la dépense moyenne du même train sur les autres parties a été de 1.238, soit une différence en plus de 3 fr. 07 c., ce qui donne le rapport 1.23 : 4.31, soit 1 à 3.48. En 1860, il était de 1 à 4,52.

Les calculs que nous venons de faire établissent *le rapport des frais du Semmering avec ceux des autres parties de la ligne du sud et ses embranchements;* mais nous devons faire observer que ces dernières lignes ne sont pas construites elles-mêmes dans des conditions ordinaires. On sait que la partie de la ligne principale, depuis le Semmering jusqu'à Trieste (464 kilomètres), est presque constamment en courbes de petits rayons, et présente, notamment sur la section du Karst (Laibach à Trieste, 150 k.), des rampes de 7 à 12 mill., et que sur la plupart des autres il y a des rampes fréquentes de 5 à 8 mill.

On se ferait donc une idée fausse de l'influence des rampes et des courbes du Semmering sur les frais de traction, en général, si on s'en tenait au résultat que nous avons fait ressortir. C'est pour ce motif que nous devons faire une nouvelle comparaison de ces dépenses, en prenant pour base le prix de traction de notre réseau de la Vénétie et du Tyrol, qui n'offre aucune des difficultés de rampes et de courbes des autres parties

du réseau sud-autrichien. Nous avons réduit ces dépenses en 1868, au chiffre de 0.72 par kilom. de train.

Si on examine les tableaux 1 et 2 (pages 13 et 14), on trouve :

Trains de voyageurs, Semmering.	2f .155
Vénétie et Tyrol (même poids).	0 .72
Différence.	1 .435

Soit le rapport de 1 : 3.

Trains de marchandises, Semmering.	1 .31
Vénétie et Tyrol.	0 .72
Différence.	3 .59

Soit le rapport de 1 : 6.

C'est ici que le résultat de la comparaison place le Semmering dans une situation plus défavorable ; mais il faut faire observer que si notre terme de comparaison primitif ne donnait pas le rapport exact de la traction en montagne avec celle d'une ligne ordinaire, il faut dire aussi que le dernier rapport fait avec le réseau de Vénétie et Tyrol pèche dans le sens contraire, car, comme on peut le voir au tableau n° 2, les dépenses de traction de ce dernier réseau ont été réduites à une limite que nulle ligne n'a encore atteinte, même en France.

D'après les comparaisons que nous venons de faire, on voit qu'on ne peut fixer d'une manière absolue les excédants de dépenses qui résultent de la traction d'un chemin avec rampes de 25 mill., et courbes de 180 mètres, ni établir le rapport absolu de ces dépenses à celles d'une autre ligne. Ce rapport varie nécessairement avec la nature des tracés et les divers éléments de l'exploitation ; mais on voit aussi, qu'à l'aide des chiffres que nous donnons, il sera toujours aisé de faire, pour chaque cas spécial, des comparaisons approximatives.

Nous avons indiqué les avantages réalisés par la traction à la suite de la modification des machines. Mais on sait que cette modification a soulevé quelques observations. On a prétendu notamment que la *voie* aurait à en souffrir. Cela était difficile à admettre, si on se rappelle que les machines primitives étaient établies dans des conditions telles que la charge des essieux d'avant était de 15.250 kilog., et celle des essieux d'arrière de 19.800, tandis que celle maxima des essieux de la nouvelle machine n'excède pas 12.000 kilog. [1].

1. Poids de la machine à engrenages.

1° Essieu d'avant		15,250 kil.
2°	—	10,700
3°	—	15,650
4°	—	6,250
5°	—	19,800
		67,650 kil.

Poids de la machine modifiée.

1° Essieu d'avant		12,000	46,400 adhésion.
2°	—	11,350	
3°	—	11,300	
4°	—	11,750	
1° Essieu tender		9,000	19,600
2°	—	10,600	
			66,000

Toutefois, nous devions laisser au temps de prononcer.

Or, voici les chiffres qui nous ont été donnés par la direction de la voie sur les frais d'entretien de toute nature du Semmering.

En 1854, ces frais se sont élevés à.	237.750f
A partir de cette époque, ils se sont successivement accrus chaque année, et avaient atteint, en 1861, le chiffre de. . . .	852.710
A partir de cette époque, qui correspond *à la modification* des machines et à une direction plus intelligente de l'entretien, les frais de toute nature, réfection et entretien, ont été réduits, savoir :	
En 1862, à.	584.665
En 1863, à.	439.492

Et il paraît certain que cette dépense, déjà ramenée à 10,719 fr., au lieu de 20.800 par kilom., et par an, continuera à décroître.

Nous espérons que ces chiffres feront tomber toute objection, et que rien ne saurait mieux justifier les dispositions qui ont été adoptées par la Compagnie depuis qu'elle a repris les lignes du réseau sud-autrichien.

Outre les avantages énumérés, nous avons supprimé les grands ateliers de Mürzzuschlag, qui étaient spécialement affectés au Semmering, et nous serons en mesure de réduire le *capital machines* de cette section de plus *d'un million*, ou 33 p. 100, en reportant sur la ligne du Brenner dix à douze machines que nous avons en trop pour le service du Semmering.

Nous n'avons parlé jusqu'ici avec détails que des dépenses de traction qui, pour le cas dont nous nous occupons, forment le principal facteur variable des dépenses de l'exploitation.

Nous devons cependant dire quelques mots des autres chapitres.

Comme on l'a vu plus haut, les dépenses de toute nature de la voie[1] ont été, en 1863, de 439.492 fr., soit, par kilomètre exploité, 10,719 fr. par an.

Sur les autres sections, Vienne-Trieste, les mêmes dépenses ont été de 4,000 fr.

Si on ramène cette dépense au kilomètre de train complet sur les deux natures de chemin, on a pour le Semmering :

$$\frac{439.492^f}{\text{voyageurs } 78.257^k + \dfrac{\text{marchandises } 191.569^k}{2}} = 2.52,$$

$$\text{ou pour train de voyageurs} = \frac{439.492^f}{269.826^k} = 1^f.63;$$

$$\text{et pour train de marchandises} = 1.63 \times 2 = 3^f.26.$$

1. Y compris surveillance.

Tandis que sur les autres sections cette dépense n'est que de 0f.722 par kilom. de trains voyageurs et marchandises.

Pour les dépenses du service du mouvement et des stations, on peut dire que le chiffre est le même sur les deux natures de ligne; car si, d'un côté, on est obligé d'adjoindre à chaque train du Semmering deux ou trois gardes-freins, ce qui constitue une dépense de plus, on sait que les chemins de montagne, n'ayant qu'un trafic de transit, le service des stations y est fait plus économiquement qu'ailleurs.

En 1863, la moyenne des dépenses du service du mouvement par kilomètre de train a été de 0.99.

Enfin, pour les dépenses générales d'administration, nous sommes également d'avis qu'elles doivent être réparties comme celles du mouvement.

Ces observations faites, les dépenses par train complet, sans tenir compte de la division sur le Semmering, se résumeraient ainsi :

NATURE DES DÉPENSES.	SEMMERING.		Autres sections de la ligne VIENNE-TRIESTE	VÉNÉTIE et TYROL.
	Marchandises trains complets 350 tonneaux au maximum.	Voyageurs 14 à 15 voitures.	Voyageurs et marchandises.	Voyageurs et marchandises.
Traction.....	4.31	2.155	1.238	0.72
Voie.....	3.26	1.63	0.722	0.613
Mouvement.....	0.99	0.99	0.99	0.796
Administration générale.	0.15	0.15	0.15	0.253
Total par kil. de train...	8.71	4.925	3.10	2.382

Nous avons vu précédemment les rapports qui existaient entre les dépenses spéciales de traction. A l'aide de ce tableau, on pourra, en se plaçant à divers points de vue, en déduire des conséquences plus générales.

Pour rester dans la limite que nous nous sommes tracée, nous terminerons en faisant ressortir les résultats spéciaux du Semmering.

On sait que le capital dépensé par l'État, pour la construction de ce chemin, s'est élevé à environ. . . . . 60,000,000f »

Si on applique à cette section de 41 kilom. la recette moyenne de la ligne entière de Vienne-Trieste, soit 60,000 fr, par kilom., le produit sera de. . . . . 2,460,000 »

Les dépenses de l'exploitation étant de :

Traction.	381,543 72	
Voie.	439,492 »	
Mouvement.	267,127 74	
Administration générale.	40,473 90[1]	
Total. . . .	1,328,637 36	1,328,637 36

Il en ressort un excédant de recettes sur les dépenses de. 1,131,362 64

ce qui établit le taux des frais d'exploitation à 54 p. 100[2], et laisse 1.88 p. 100 pour intérêt et amortissement du capital de 60,000,000.

Disons toutefois que tel n'est pas le résultat pour la Compagnie, qui, fort heureusement, n'a pas eu à supporter les frais de construction du Semmering.

Nous ne voulons pas terminer cette partie de la note sur le Semmering sans dire notre opinion sur les machines propres, en général, aux lignes en courbes de petit rayon et à fortes rampes.

On pourrait croire, en présence de la diversité des projets dont on s'occupe, que les moyens actuels d'exploitation de ces lignes soient tellement défectueux que tout reste à faire. C'est là, suivant nous, une grave erreur, et il nous semble qu'on doit tenir compte des progrès faits dans ces dernières années, et surtout des améliorations apportées dans la traction du Semmering. C'est à qui des inventeurs présentera la plus forte machine, comme si aucune limite ne devait être assignée à la puissance du moteur. Mais si tel était le but, le problème ne serait assurément pas difficile. On a la machine à huit roues couplées, on a maintenant celle à 12 roues couplées, et on en a projeté à 18, 24 et 48! — Mais que fera-t-on de ces machines? Supposons, pour rester dans des limites raisonnables, une machine à 12 roues couplées sur le Semmering avec un poids adhérent moyen de 60 tonnes et une force de traction, calculée au sixième de cette adhérence, soit 10,000 kilom. pouvant, conséquemment, franchir les rampes de 25 mill. avec un train de 320 tonnes brutes. Utilisera-t-on cet effort? Non, car celui dont nous disposons avec nos machines modifiées (7.700 kilog.) est la limite de résistance des appareils de traction des wagons généralement en usage, et encore en existe-t-il qui sont beaucoup trop faibles, d'un système qui ne présente pas toute sécurité et qui, pour cette raison, sont exclus de la circulation du Semmering.

Cela est tellement vrai que, malgré les précautions prises, nous avons

. . . . . .

1. Au lieu de 2,738,375 fr. en 1858-59.

2. En 1863 les frais d'exploitation de la ligne de Vienne à Trieste se sont élevés à 32,9 pour 100 des recettes.

quelquefois sur cette partie de nos lignes des ruptures d'attelage avec les charges actuelles, et que, sans la plus grande vigilance du personnel préposé aux freins, il pourrait en résulter de graves accidents. Or, si ce premier inconvénient pose une limite à l'effort de traction, on ne peut passer outre. Il ne suffirait pas, en effet, de changer seulement les attelages des wagons de la ligne du Sud, mais il faudrait aussi remplacer ceux des wagons de toutes les lignes en rapport avec la ligne de Trieste.

D'un autre côté, et la raison paraît encore plus péremptoire, c'est que l'absorption de force de traction dans les courbes, absorption qui se traduit par une perte de combustible et une plus grande usure de la voie et du matériel, augmente dans une proportion considérable avec la longueur des trains.

Ainsi, si la dépense de combustible d'un train de 15 wagons dans les courbes du Semmering est représentée par 1, la dépense pour une machine qui devra remorquer un train de 30 wagons dans les mêmes courbes, sera plus que le double.

Les expériences que nous avons faites récemment et que nous sommes à même de faire chaque jour ne laissent aucun doute à cet égard.

On sait aussi ce que coûte l'entretien et la manipulation des machines lourdes et compliquées. Nous en avons fait l'expérience, et nous n'oublierons pas que les machines primitives du Semmering entraînaient une dépense de fr. 1.57 par kilom. pour l'entretien seulement.

Pourquoi dès lors admettre des machines plus fortes que celles nécessaires pour atteindre la limite dont nous venons de parler, puisque ce ne serait qu'aux dépens de la sécurité, de la consommation de combustible, de l'usure du matériel et de la voie, sans aucune compensation ?

Nous comprenons toutefois que pour des rampes exceptionnelles au-dessus de 30 à 40 mill. l'emploi de machines plus fortes trouve son application ; mais on ne peut songer à le faire avec le matériel des lignes ordinaires. La première condition est de ne pas subordonner la sécurité à une rupture d'attelage.

Supposons même cette question d'attelage mise de côté. Trouve-t-on qu'il soit prudent de mettre en mouvement, sur une rampe de 25 mill. ou plus, des trains de 2 à 300 tonnes ? Qu'on fasse des trains de 6 à 800 tonnes sur des chemins horizontaux ou à faible rampe, cela se conçoit ; un attelage manque, il n'en résulte rien de fâcheux ; mais qu'une telle rupture se produise dans un train franchissant une forte rampe, la partie détachée prendra presque instantanément un mouvement rétrograde contre lequel l'effet des freins deviendrait tout à fait impuissant, surtout sous l'influence de certaines circonstances atmosphériques. Cette éventualité commande donc une prudence extrême.

En ce qui concerne le système même des machines pour fortes rampes et courbes de faibles rayons, si on admet, par les raisons que nous avons

indiquées plus haut, un maximum d'effort de traction de 7 à 7.750 kil., et un poids de 12 tonnes par essieu, il sera atteint facilement par une machine simple et économique *à 8 roues couplées*, comme celle du Semmering, portant ses approvisionnements si la voie le permet. Mais jusqu'à quelle limite cette machine sera-t-elle possible?

Si on en juge par la longue expérience du Semmering, on peut dire que l'emploi de ces machines pourra avoir lieu sans inconvénient pour des courbes descendant jusqu'à 150 mètres.

On admettra d'autant plus ce principe que des expériences, réputées satisfaisantes, ont été faites récemment par la Compagnie du Nord avec des machines rigides à six essieux parallèles dans des courbes de 125 mètres.

La machine à huit roues étant admise pour les rayons de 150 mètres, quel système convient-il d'employer pour les rayons plus faibles, descendant jusqu'à 100 mètres?

En admettant toujours le maximum de 7.750 kilomètres pour l'effort de traction exigeant plus de 50 tonnes d'adhérence, c'est évidemment le cas d'employer la machine à trains articulés. Mais examinons les systèmes.

On a vu à l'Exposition de Londres le système très-savamment combiné de la machine Engerth, dans lequel les trois essieux de la machine et les deux du tender sont employés pour l'adhérence; mais on sait les complications qu'il entraîne.

Le grand nombre de bielles et de coussinets, à entretenir et à régler, fait de ce moteur une machine de précision, et sera toujours, suivant nous, un inconvénient qui en bornera l'emploi à des cas spéciaux, comme celui pour lequel la machine a été construite.

Nous avons vu ensuite un projet de la machine articulée à deux cylindres et à douze roues couplées de M. Rarchaert; mais il est impraticable à cause de la complication de l'accouplement.

Un grave inconvénient commun à ces deux systèmes, et à tous ceux analogues, est l'impossibilité de maintenir l'égalité des diamètres des dix et douze roues motrices, car il en résulte une prompte détérioration des organes et une absorption notable de force. Il faut bien que ces difficultés aient une grande importance, puisque des ingénieurs les plus expérimentés ont préféré, sans y être obligés par le système, adopter deux cylindres de plus, en bornant l'accouplement par groupes de trois essieux pour la machine à marchandises, et en l'excluant complétement pour la machine à voyageurs à deux essieux moteurs.

Ces difficultés d'accouplement ont paru suffisantes pour justifier l'emploi de quatre cylindres.

Enfin, les explications si précises et si justes contenues dans le rapport de M. Couche sur la machine Rarchaert ne laissent aucun doute sur les difficultés de l'accouplement d'un trop grand nombre de roues.

La machine à deux trains articulés, ayant chacun deux cylindres[1], semble donc le mieux répondre au service pour des courbes de 100 à 150 mètres de rayon, et en bornant l'effort de traction à 7.750 kil., il suffirait d'une charge de 10 tonnes par essieu.

Le système de ces machines est connu. Deux types ont été établis il y a dix à douze ans pour le concours du Semmering, et ont été abandonnés[2]; mais celui dont la disposition me paraît la plus satisfaisante, à quelques détails près, est le projet de machine à 12 roues couplées, présenté dans ces derniers temps par MM. Meyer.

Par la limite de ses rampes et de ses courbes, *le Semmering se trouve heureusement dans des conditions telles qu'aucun de ces derniers systèmes de machines n'y est nécessaire.* J'ajouterai même qu'ils y sont impossibles; que c'est à la simplicité de celui actuellement en pratique que sont dues, en grande partie, les économies réalisées, et qu'en nous en écartant nous retomberions dans les inconvénients et les dépenses excessives dont l'expérience doit nous garantir.

Nous avons la preuve que ni l'écartement des quatre essieux parallèles (3m,43), ni la difficulté de maintenir l'égalité des diamètres des huit roues motrices, n'altèrent en rien la puissance de la machine.

S'il fallait répondre à l'objection faite au sujet de l'insuffisance de surface de chauffe de la machine modifiée, nous ne pourrions que répéter ce que nous avons déjà dit. La chaudière de la machine Engerth primitive avait été calculée pour utiliser l'adhérence complète, soit 67.650 kil[3]; or, nous n'avons et nous ne pouvions rien changer à cette chaudière. Donc, en portant, par la disposition nouvelle, l'adhérence à 46,400 kil., nous n'avons fait qu'améliorer, d'une manière notable, le rapport de la surface de chauffe à la puissance d'adhérence, puisqu'au lieu de $\frac{67650^k}{153,39} = 440^k$, nous avons $\frac{46400^k}{153,39} = 302^k$; mais je répéterai *que, pour le cas spécial du Semmering, où la vitesse des trains de marchandises n'excède pas 15 à 16 kilomètres à l'heure, ce n'est pas la surface de chauffe qui limite la puissance de la machine, mais bien l'adhérence*, et cela malgré l'emploi d'un mauvais combustible, puisque c'est du lignite n'ayant que 65 p. 100 de la puissance du coke.

Toutefois, si les chaudières étaient à refaire complétement, il est certain que nous chercherions à obtenir une surface de chauffe un peu plus

1. C'est également l'opinion que j'avais déjà émise dans ma note de 1862.

2. Ce sont les locomotives *Wiener-Neustadt* et *Seraing*; chaque machine était composée de deux trains articulés ayant chacun 2 cylindres et 4 roues couplées. Poids des machines en marche environ 64 tonnes, soit 16 tonnes par essieu, condition évidemment inadmissible.

3. On sait que pour la suppression de l'engrenage cette adhérence était réduite à 37,500 kil.

grande; mais, dans ce but, je ne saurais consentir à un trop grand sacrifice, car, pour une économie de quelques centimes de combustible par kilomètre qui pourrait en résulter, on augmenterait bientôt les dépenses d'entretien du double et du triple de cette économie, par suite du plus grand poids et de la disposition en général plus compliquée.

Si, après tout ce qui a déjà été dit, il faut une nouvelle preuve directe et évidente de l'avantage de la modification, même sous le rapport de la combustion, on l'aura par l'examen du tableau (page 222), qui donne la consommation des machines du Semmering depuis 1860, et qui *constate que cette consommation, par rapport à la charge remorquée, a été réduite de* 52 *p.* 100.

En résumé, nous divisons nos trains en deux pour passer le Semmering; aucun des types présentés ne permettrait de le passer en une fois.

On a bien proposé encore pour les fortes rampes d'employer deux machines, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière de chaque train; mais où serait l'avantage? La machine de tête entraînerait la moitié des wagons par les appareils de traction; celle de queue pousserait par le refoulement des tampons la seconde moitié du train. Dès lors, les attelages entre les deux parties de train n'auraient rien à faire, et les deux trains pourraient être considérés comme marchant isolément.

Mais il est évident que, dans le dernier cas, la force de la machine sera mal utilisée, et qu'elle sera en partie absorbée dans les courbes par la rigidité des wagons poussés; qu'il pourra en résulter des déraillements et des accidents. La seule chose qui serait en faveur de cette disposition est la conservation des attelages; mais le système me paraît impraticable dans *les courbes de petit rayon*, et je suis d'avis qu'on ne doit pas s'y arrêter.

Les machines à quatre cylindres et à six essieux parallèles, mises en service dans ces derniers temps, sur le chemin de fer du Nord, sont établies dans des conditions qui doivent assurément donner des résultats très-favorables, car tout le poids de la machine, y compris celui des approvisionnements, est utilisé pour l'adhérence. Il y a, en outre, un grand avantage à faire, sur un chemin d'un aussi grand trafic, des trains de marchandises de 40 à 45 wagons, ou d'un poids brut de plus de 600 t.

Mais, malgré les essais faits avec ces machines, sur le chemin de Chauny, qui, avec des rampes de 13 à 18 mill., présente des courbes de 275 mètres, on ne saurait admettre, suivant moi, que ce type, tel qu'il est, soit propre au service courant d'un chemin en montagne, ayant des courbes au-dessous de ce rayon.

L'empatement de six mètres des essieux parallèles présentera toujours de sérieux inconvénients dans des rayons plus faibles. Pour un tel écartement, la différence entre le parcours à faire par les roues intérieures et extérieures est déjà notable avec des courbes de 250 mètres, et deviendrait un très-sérieux obstacle pour des rayons plus petits, car les diffé-

rences dont il s'agit sont loin d'être compensées par la conicité des roues [1].

D'un autre côté, ces difficultés ne sauraient être amoindries par l'emploi qu'on a fait des leviers de M. Beugniot. Cette application, qui peut être favorable *pour maintenir dans des lignes droites la stabilité des machines à faible empatement destinées pour des courbes*, ne me semble pas justifiée dans une machine à six essieux. La distance de deux axes (3^m,720) paraît, en effet, suffisante pour maintenir la stabilité de machines qui ne doivent marcher qu'à petite vitesse. Cet appareil ne peut faciliter le passage des courbes, et je suis d'avis qu'il vaut mieux laisser les boudins de roues s'inscrire naturellement dans ces courbes que de les y forcer, car les leviers ne peuvent opérer qu'en créant de notables frottements, et en prenant leurs points d'appui sur la voie elle-même.

Ainsi que je l'ai déjà dit dans ma note de 1861, si la machine à huit roues couplées ne suffisait plus, comme puissance, dans certains cas, c'est à celle à six essieux couplés et à deux trains articulés qu'il faudrait recourir.

Le type du Nord remplira le but mieux que tout autre lorsque les ingénieurs qui l'ont créé rompront le parallélisme des six essieux et feront deux trains articulés indépendants, d'après le projet dont j'ai parlé dans cette note.

1. Les expériences que nous avons déjà faites et celles que nous nous proposons de faire prochainement sur le Semmering, au moyen du dynamomètre si précis, que nous devons à l'obligeance de M. Villemain, feront voir l'importance du frottement dû aux essieux parallèles dans les courbes.

N° 1. CHEMIN DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE.

ÉTAT COMPARATIF des dépenses de traction des années 1859 à 1863.

1° Lignes de Vienne-Trieste, de Hongrie et de Croatie.

DÉTAIL DE PARCOURS ET DÉPENSES.	Sous l'administration de l'État en 1859.	Sous l'administration de la Compagnie. 1860.	1861.	1862.	1863.	RÉDUCTION des dépenses 1863 sur 1859.	OBSERVATIONS.
	k.	k.	k.	k.	k.		
Parcours des trains	4.416.023	3.990.493	5.542.559	5.345.937	4.551.630	»	
Parcours des machines	5.967.671	4.561.279	6.078.358	5.701.986	4.797.530	»	
Excédant du parcours des machines sur celui des trains, p. 100	35.12	14.30	9.66	6.66	5.40	»	
Dépenses totales de traction et d'entretien	13.322.592f	7.958 366f 92	8.205.802f	7.698 344f 85	5.883 419f 10	7.439.172f 90	
Dépenses par kilomètre de train.							
1° LOCOMOTIVES.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	pour 100.	Longueurs en exploitation :
Conduite	0.244	0.254	0.223	0.230	0.255	»	1859 — 614 kil.
Combustible	1.082	0.828	0.685	0.549	0.454	58	1860 — 723
Graissage	0.136	0.077	0.083	0.071	0.052	61.4	1861 — 1.025
Eau	0.109	0.066	0.033	0.031	0.024	77.8	1862 — 1.150
Réparations	0.636	0.351	0.236	0.269	0.203	68.4	1863 — 1.278
Frais généraux	0.098	0.083	0.061	0.072	0.100	»	
2° VOITURES ET WAGONS.							
Réparation des voitures	0.228	0.095	0.036	0.068	0.070		
— des wagons	0.434	0.175	0.069	0.094	0.078	72.3	
Graissage	»	0.042	0.038	0.037	0.034		
Frais généraux	0.049	0.023	0.016	0.019	0.022	56	
Total par train et kilomètre	3.016	1.994	1.480	1.440	1.292	»	
Réduction sur 1859	»	33.80 o/o	50.90 o/o	52.20 o/o	57.10 o/o	57.10 o/o	

N° 2.

CHEMIN DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE.

ÉTAT COMPARATIF des dépenses de traction des années 1859 à 1863.

2° Lignes de Vénétie et du Tyrol sud.

DÉTAIL DE PARCOURS ET DÉPENSES.	Sous l'administration de la Compagnie.					RÉDUCTION des dépenses 1863 sur 1859.	OBSERVATIONS.
	EN 1859.	1860.	1861.	1862.	1863.		
	k.	k.	k.	k.	k.		
Parcours des trains	1.062.318	1.264.631	1.589.962	1.776.345	1.655.117	»	
Parcours des machines	1.508.775	1.606.618	1.938.419	1.915.980	1.748.195	»	
Excédant du parcours des machines sur celui des trains, p. 100	42.02	27.04	21.91	7.86	5.62	»	
Dépenses totales de traction et d'entretien	1.285.646f 78	1.426.862f 03	1.701.328f 10	1.388.447f 60	1.194.068f	»	
Dépenses par kilomètre de train.							
1° LOCOMOTIVES.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	pour 100.	Longueurs en exploitation.
Conduite	0.17	0.23	0.163	0.130	0.137	19.4	
Combustible	0.58	0.43	0.443	0.308	0.276	52.4	1859 — 415
Graissage	0.06	0.04	0.054	0.042	0.039	35.0	1860 — 518
Eau	0.03	0.02	0.016	0.013	0.013	56.6	1861 — »
Réparations	0.18	0.20	0.176	0.129	0.118	40.0	a 1863 — 518
Frais généraux	0.02	0.02	0.041	0.055	0.040	»	
2° VOITURES ET WAGONS.							
Réparation des voitures	0.08	0.08	0.064	0.050	0.037	53.7	
— des wagons	0.05	0.09	0.094	0.037	0.048	4.0	
Graissage	0.02	0.01	0.010	0.007	0.006	70.0	
Frais généraux	0.01	0.01	0.09	0.010	0.006	4.0	
Total par train et kilomètre	1.20	1.13	1.070	0.781	0.720	—	
Réduction sur 1859	—	5.83 0/0	10.83 0/0	34.91 0/0	40 0/0	40.0	

N° 3. CHEMIN DE FER DU SUD DE L'AUTRICHE.

COMPARAISON des dépenses de traction du Semmering avec les autres sections (par kilomètre de train).

DÉSIGNATION DES LIGNES.	1859.	1860.	1861.	1862.	1863.	OBSERVATIONS.
Ligne du Sud.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	1. De 1860 à 1863 la charge de train s'est accrue de 50 p. 100.
Semmering seul[1]	—	2.85	2.40	2.29	2.155	
Autres sections	—	1.89	1.42	1.39	1.238	
Ensemble des lignes du Sud	3.016	1.99	1.48	1.41	1.292	
Vénétie et Tyrol	1.20	1.13	1.07	0.78	0.72	

N° 4. **TABLEAU de la consommation du combustible par les machines du Semmering de 1860 à 1863.**

ANNÉES.	KILOGRAMMES de coke.	KILOMÈTRES de train.	KILOMÈTRES de machines y compris manœuvres de gares.	CONSOMMATION par kilomètre de train.	CONSOMMATION par kilomètre de machine.	OBSERVATIONS.
1860	15,380.997	425.969	468.465	36 kil.	32 kil.	On emploie sur le Semmering du lignite de Léoben, dont la puissance calorifique est égale à 65 0/0 du coke. Dans ce tableau nous avons pris pour unité le kilogramme de coke
1861	11,387.009	349.730	382.516	32	29	
1862	8,332.543	300.717	309.448	27	26	En 1860 les trains étaient divisés en 3; en 1863 ils n'étaient divisés qu'en 2..
1863	7,129.978	269.826	295.414	26	24	

NOTE

SUR

LE SYSTÈME DE CHAUFFAGE

DE M. SIEMENS,

et son application à la métallurgie du fer,

PAR M. P. MARIN.

Il y a peu d'années que l'on a commencé, en France, à construire des fours à gaz à chaleur régénérée du système de M. Siemens; et, quoique déjà des industries très-diverses se les soient appropriés et en aient constaté, d'une manière indubitable, les avantages économiques, ce n'est que très-lentement que le nombre de ces appareils augmente dans nos usines. L'industrie du verre est la seule qui les ait définitivement adoptés, assez même pour que l'on puisse prévoir un état prochain de grave infériorité pour les établissements de ce genre qui n'auront pas substitué aux fours actuels les fours Siemens, ou d'autres, à trouver, qui leur soient comparables. On sait dans quelle proportion considérable le combustible entre dans les prix de revient de la fabrication des glaces, du cristal, du verre blanc, du verre à bouteilles surtout; et il n'est pas étonnant que cette industrie, dont les fours ordinaires sont toujours des appareils coûteux, ait moins hésité que d'autres à essayer et à appliquer couramment un procédé qui promettait 50 pour 100 d'économie sur le combustible, qui, en réalité, en donne généralement 30 ou 40, et qui n'a pas dit son dernier mot.

Mais ce procédé peut s'employer dans presque tous les cas où l'on a besoin d'une température élevée; il est de nature à donner dans presque toutes ses applications des économies analogues à celle que l'industrie du verre y trouve; et cependant une usine qui l'emploie au travail des métaux, fer, acier, zinc, à la cuisson en moufles, à la fabrication du gaz d'éclairage, etc., est encore, en France surtout, une infiniment rare exception.

Je me propose, après avoir décrit le procédé d'une manière générale

d'en étudier plus spécialement, d'après les premiers essais faits en France, l'application à la métallurgie du fer, et d'en déduire enfin quelques observations sur les conditions qui me paraissent de nature à en limiter ou à en étendre le développement dans l'industrie.

I

Le système de chauffage de M. Siemens part d'un double principe : 1° emploi du combustible, quel qu'il soit, à l'état gazeux; 2° utilisation complète de la chaleur développée par la combustion.

Nous aurons donc à examiner d'une part les appareils producteurs de gaz, et de l'autre les appareils spéciaux de combustion.

Avec quelques légères modifications suivant la nature du combustible à employer : anthracite, houille grasse ou maigre, coke, bois, etc.; la construction du générateur du gaz est à peu près constante et des plus simples. Il suffit de se représenter une chambre en briques d'environ $1^m,80$ de largeur, $2^m,50$ de hauteur, et une longueur de $0^m,90$ en bas et de $2^m,50$ à la partie supérieure, l'une des parois de cette chambre étant formée par un plan incliné de 45 à 55°, en moyenne, fait de briques réfractaires, et par une grille à même inclinaison y faisant suite (Pl. 39, *fig.* 1). La voûte de la chambre s'arrête à environ $0^m,60$ ou $0^m,80$ du plan incliné, et c'est au-dessus de cet espace vide qu'on charge le combustible par deux orifices. Le dégagement du gaz se fait par une ouverture tantôt pratiquée dans la paroi opposée au plan incliné, à environ $1^m,70$ au-dessus du sol, tantôt ménagée à la partie supérieure de la voûte elle-même.

Le charbon, à mesure qu'on le charge, descend très-lentement sur le plan incliné, et met plus de deux jours à arriver aux grilles inférieures. (L'appareil en effet, en marche, contient environ quatre tonnes de houille, et n'est pas fait pour en consommer plus de 1,800 à 2,000 kilog. par vingt-quatre heures.) Le charbon prenant naturellement, à peu de chose près, l'inclinaison du plan lui-même, on règle l'épaisseur que l'on reconnaît, dans chaque cas, utile de lui donner, au moyen d'une petite voûte établie au-dessous de la grande à son extrémité, et que, dans la construction, on fait descendre plus ou moins, de façon à laisser entre cette petite voûte et le plan incliné un écartement variant de $0^m,40$ à 1^m, écartement qui détermine l'épaisseur que prend le combustible au sommet du talus, et qu'il conserve jusqu'en bas.

C'est d'abord une distillation qu'il subit sous l'influence de la chaleur émise par la voûte et les parois, et de la chaleur concentrée dans la masse, distillation produisant un peu d'eau, d'ammoniaque, d'oxyde

de carbone, d'acide carbonique, et surtout, en abondance, des hydrogènes carbonés. Quant à l'achèvement de la transformation du combustible solide en gaz, il s'opère ensuite, et d'une manière complète, au moyen de l'air qui entre par les grilles. L'air rencontre en effet sur ces grilles des couches de charbon incandescentes; et, les brûlant, se transforme en acide carbonique mélangé d'azote; l'acide carbonique formé s'élève lentement à travers les couches supérieures, passant à son tour à l'état d'oxyde de carbone. C'est cet oxyde de carbone, chargé d'azote, qui, se mélangeant dans la partie supérieure de la chambre avec les hydrocarbures résultant de la distillation initiale, forme avec eux le combustible gazeux, qui se dirige de là vers les fours.

Je regrette de ne pas avoir à présenter d'analyses de ce mélange. Quelques expériences ont été faites à l'usine de la Compagnie parisienne, à Vaugirard, sur du gaz fourni par du coke; dans ce gaz, provenant de ce combustible spécial, déjà dépouillé de ses éléments volatils, les hydrocarbures n'existent pas; il se compose presque entièrement d'oxyde de carbone pur et d'azote mélangés de 3 à 4 pour 100 d'acide carbonique. On trouverait une composition toute différente au gaz obtenu par le traitement de la houille, et de la houille grasse surtout [1]; il serait intéressant de comparer les compositions et par conséquent les pouvoirs calorifiques des mélanges gazeux produits dans cet appareil par les différentes espèces de combustibles, et, en outre, par un même combustible dans des allures différentes, plus ou moins chaudes, avec plus ou moins d'ouverture de grilles, etc. Les résultats auxquels on arriveraitne laisseraient pas que d'être fort utiles, pour régler, dans chaque cas, avec le moins de tâtonnements et de temps perdu possible, la marche la plus convenable de l'appareil. Quoi qu'il en soit, c'est l'oxyde de carbone qui constitue pour la plus forte proportion le gaz combustible fourni par le générateur; c'est l'oxyde de carbone que l'on doit tendre à produire.

Quant à la conduite de l'appareil, simple comme l'appareil lui-même, elle exige du moins des soins constants. Des regards pratiqués dans la voûte permettent de juger fréquemment de l'état de la masse en ignition; en bonne marche, l'aspect général doit être celui de la température rouge, un peu au-dessous du rouge clair : une couleur sombre indiquerait généralement un ralentissement dans la combustion, par suite de

1. Ce mémoire était terminé quand j'ai eu communication d'analyses faites à Saint-Gobain, sur du gaz de houille grasse, produit en présence d'une forte quantité d'eau introduite dans les appareils. En voici le résultat :

Acide carbonique	6	à 9	p. 100
Oxygène	0,1	à 3,2	
Oxyde de carbone	17	à 22	
Hydrogènes carbonés	3	à 6	
Hydrogène	5	à 17	
Azote	55	à 65	

manque d'air, manque de tirage, descente trop rapide de charbon encore noir, emploi d'un charbon trop maigre, éclatant et se divisant au feu, d'un charbon trop fin; et le résultat de cette allure serait évidemment une diminution graduelle dans la production du gaz, et une insuffisance de gaz combustible au four en travail. Un appareil trop chaud, au contraire, présente en général beaucoup de vides à travers lesquels les courants ascendants, prenant trop de vitesse, passent inutilement; il peut arriver de l'air jusqu'à la surface intérieure pour y brûler, avec flamme, le gaz déjà formé; la décomposition de l'acide carbonique ne se fait plus; et une proportion plus ou moins considérable de ce gaz inerte vient s'ajouter en pure perte au mélange; c'est surtout l'inconvénient à redouter avec des charbons trop gras, menés à une allure trop chaude; ils collent facilement, se prennent en masse, causent des engorgements, forment dans l'intérieur des voûtes, au-dessous desquelles de très-grands vides deviennent des réservoirs d'acide carbonique, et au-dessus desquelles le charbon ne descend plus. Des trous de travail placés au sommet du plan incliné permettent de pousser plus ou moins le charbon trop lent à descendre, de briser ces voûtes, ces amas de gros morceaux de coke soudés, s'ils viennent à se former. A travers les grilles, on peut également sonder l'état du combustible, casser et retirer les crasses que l'on rencontre le long des murs ou des porte-grilles; on peut, suivant que l'appel d'air est trop actif ou trop faible, en restreindre ou augmenter l'accès en bouchant ou en débouchant quelques grilles de plus. Des générateurs à coke fonctionnent très-bien avec deux grilles seulement ouvertes, c'est-à-dire avec une surface d'entrée d'air de moins de $0^{mq},40$. Avec la houille, on conserve généralement quatre ou cinq grilles ouvertes; cette quantité varie du reste non-seulement avec le combustible employé, mais pour un même combustible, avec la quantité de gaz dont on a besoin; et il est évident que la surface du charbon pourra présenter un aspect plus ou moins clair, la marche étant également bonne, suivant qu'on aura besoin d'utiliser, ou non, toute la puissance productive du générateur, et qu'on le poussera ou le ralentira. Dans tous les cas, les grilles doivent être toujours parfaitement nettoyées des cendres qui ne cessent de s'y déposer; le charbon s'y trouver au rouge clair, en bon état de combustion ardente; le bas de l'appareil débarrassé une ou deux fois par vingt-quatre heures des crasses et des cendres non fondues qui s'y amassent; les orifices de chargement pleins jusqu'en haut; le gaz, enfin, partout où une issue lui est offerte, doit, notamment par les regards supérieurs, sortir abondamment, c'est-à-dire manifester l'excès constant de sa pression sur la pression atmosphérique; on comprend que, sans cette condition, des rentrées d'air pourraient se produire, qui brûleraient le gaz à l'intérieur, et exposeraient non-seulement à des pertes de combustible, mais dans les conduites et au four, à des accidents sérieux.

L'opération enfin doit être assez complète pour qu'il ne reste absolument au fond du générateur que les matières inertes, crasses et cendres, que l'on enlève, comme je viens de le dire; cependant, une certaine quantité d'escarbilles, et quelquefois de charbon, est inévitablement retirée en même temps; ces escarbilles, après un triage et un tamisage, sont aptes à être employées et rechargées dans les appareils, mélangées avec la houille [1].

M. Siemens a longtemps recommandé l'introduction d'eau sous les grilles. Cette eau se vaporisant, la vapeur décomposée par le charbon en ignition produit de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone; une disposition spéciale assure dans ce but l'émission d'une petite quantité d'eau. Mais, outre que les appareils établis avec cette disposition sont d'un entretien moins commode que les autres, il me semble que cette décomposition de l'eau ne se fait qu'aux dépens d'une certaine quantité de chaleur, que le bénéfice à en retirer ne peut être que fort minime, et qu'une quantité d'eau, qu'on serait tenté de regarder comme insignifiante, peut avoir l'inconvénient de donner au mélange gazeux des propriétés oxydantes, gênantes dans certains cas. Quelquefois cependant, en se plaçant à un autre point de vue, avec des combustibles donnant beaucoup de crasses et de cendres, la présence de l'eau au fond du générateur pourra avoir l'avantage de faciliter l'opération du nettoyage.

Voyons maintenant quel charbon il sera convenable d'employer dans ces appareils. M. Salvetat, dans un travail sur l'industrie du verre à l'Exposition de Londres, accorde aux fours de verrerie de M. Siemens de justes et précieux éloges; après avoir rappelé, par un naturel hommage, les grands travaux d'Ebelmen, il fait nettement ressortir les grandes conséquences de l'invention nouvelle au point de vue de l'emploi de certains charbons dont la mauvaise qualité empêchait jusqu'ici de tirer parti : il y a là en effet, au-dessus des économies réalisables dans telle ou telle industrie, une considération d'un très-sérieux intérêt pour certaines contrées qui n'ont d'avenir que dans un usage meilleur et mieux entendu de leur combustible.

Le générateur à gaz peut brûler toute espèce de combustible : du bois, du coke, de l'anthracite et les pires qualités de houille, les plus sales, les plus terreuses. Il suffira de changer l'épaisseur de la couche, de modifier les dimensions des grilles et leur inclinaison, d'en opérer le décrassage plus ou moins fréquemment, pour approprier l'appareil aux nécessités de chaque cas particulier. On conçoit, par exemple, qu'il faille retarder la descente et par conséquent diminuer l'inclinaison, si l'on doit

1. On peut même, dans des forges, où des fours à foyer direct produisent des escarbilles, en introduire dans le mélange destiné aux générateurs une assez forte proportion, 1/4 à 1/3 sans inconvénient; ce qui abaisserait proportionnellement le prix de revient moyen du mélange.

brûler un charbon maigre, se délitant facilement, et dont la poussière irait, encore noire, s'accumuler aux grilles, avant d'avoir été décomposée, et obstruer les passages d'air; dans ce cas encore, il faudra conserver un plus grand nombre de grilles ouvertes à l'air, dont les mouvements seront plus gênés dans la masse et qui, par compensation, devra trouver une surface d'accès plus large. Avec des charbons très-gras, au contraire, et qui collent facilement, il n'y a à redouter qu'une descente trop lente; on augmentera l'inclinaison; de 40° dans le cas précédent, on la portera à 50 ou 55°; on réduira l'accès de l'air en bouchant les grilles supérieures, sous peine de ne présenter à l'air arrivant par ces grilles qu'une épaisseur de charbon d'autant plus insuffisante que plus de vides existeront dans la masse. Si l'on emploie du coke dont tous les morceaux restent à l'intérieur séparés les uns des autres, offrant à l'air et à l'acide carbonique une grande facilité de passage, on fera en sorte de leur faire traverser une couche d'autant plus épaisse; on se donnera $0^{m},80$ à $1^{m},0$ d'épaisseur de coke sur le plan incliné.

Je n'insiste pas; la question est résolue par l'expérience, et on peut dire que, la nécessité de se servir d'un combustible quelconque étant donnée, le générateur Siemens pourra s'y adapter.

Est-ce à dire pour cela que, profitant de cet avantage, capital dans quelques cas, on devra toujours donner pour ces appareils la préférence à des houilles maigres et menues de mauvaise qualité, à de la poussière de coke que l'on aurait à bas prix, aux escarbilles abandonnées par les usines pour une valeur si minime, et qu'il soit permis de compter avec M. Siemens que non-seulement on pourra remplacer 100 de charbon à 20 fr. la tonne, par exemple, par 50 du même, mais encore 100 de ce charbon à 20 fr. par 50 d'un charbon à 12 ou 15 fr.? Forcé de me séparer ici de l'opinion du savant ingénieur, je suis convaincu, au contraire, qu'en attachant trop d'importance à la possibilité d'employer des combustibles de moindre valeur, on s'exposerait en général à des mécomptes, et qu'au lieu d'augmenter l'économie du système lui-même, on arriverait à l'amoindrir. La question a été théoriquement étudiée et discutée en Allemagne; dans les expériences pratiques, elle a trouvé quelquefois des résultats contradictoires; elle ne m'en paraît pas moins tranchée aujourd'hui; il suffit, pour juger dans quel sens, de se reporter à la composition des différentes espèces de houilles; il suffit de se rappeler dans quelle proportion l'élément pierreux figure dans les charbons à bas prix; et, autant dans certaines circonstances il peut être précieux d'utiliser des combustibles inférieurs spéciaux, autant il y aurait erreur et faute à en aller, exprès, choisir de mauvais, à cause de leur bas prix, quand on peut s'en procurer de bons. Dans tous les établissements où les charbons, mauvais ou bons, n'arrivent qu'après un transport équivalent, qu'on donne la préférence aux meilleurs, et qu'on ne se contente des houilles inférieures que si on les a, et pas d'autres, à sa portée. Comparé au ré-

sultat qu'elles donnent dans les foyers ordinaires, on en tirera, dans le générateur Siemens, un excellent emploi; mais il faut se garder de croire, je le répète, qu'un meilleur charbon ne donnerait pas mieux. J'insiste sur ce point, qui est essentiel : la perspective de cette nouvelle économie est séduisante, et elle a été cause, dans plus d'une application, de longs retards, dans le succès du procédé lui-même; et quand on fait quelque essai en industrie, les chances de déception sont assez nombreuses pour que je croie utile de recommander d'éloigner celle-là.

En un mot, l'appareil étant donné, avec la possibilité de se procurer toute espèce de charbon, auquel devra-t-on donner la préférence? Amené par les considérations qui précèdent à repousser le charbon sale qui encombre rapidement le fond de l'appareil de crasses et de cendres, le charbon maigre qui le plus souvent éclate et se divise au feu, obstruant l'appareil, et dans tous les cas fournit une quantité moindre de gaz, le charbon trop gras qui amène des engorgements, on arrive naturellement à adopter un bon charbon demi-gras. L'état de la houille est également important : le menu, la poussière tendent toujours à gêner les mouvements de l'air, qu'aucune soufflerie n'injecte dans la masse [1]; d'un autre côté, la gailletterie qui conviendrait le mieux est d'un prix élevé. Si les établissements étaient toujours voisins des houillères, le tout-venant, fraîchement extrait, serait excellent; quand la houille a au contraire à subir un transport plus ou moins long, encore faut-il qu'à l'usine elle présente au moins 40 p. 100 de gaillettes. Le générateur étant construit avec une inclinaison de 50°, par exemple, pour l'emploi d'un certain charbon qui, en général, au double point de vue de la production du meilleur gaz et de la conduite la plus sûre, la plus régulière et la plus facile de l'appareil, devra être ce bon demi-gras, gailletteux, il ne restera plus à l'industriel qu'à chercher une qualité de houille qui représente ce type, ou le plus souvent à s'en rapprocher par des mélanges de qualités diverses. C'est peut-être cette question du choix du charbon qui est la plus délicate de la mise en train du procédé; elle a toujours donné lieu, à ma connaissance, à de longs et pénibles tâtonnements que les expériences faites doivent, je crois, fort abréger pour l'avenir.

Il y aurait bien encore quelques indications à donner sur la conduite des appareils; mais ce serait tomber dans un excès de détails.

Je n'insisterai pas sur le système de générateurs doubles, dans lesquels on établit deux grilles et deux plans inclinés en vis-à-vis, de façon à doubler et la capacité et les surfaces d'introduction de l'air, et

1. Quand la production du générateur, refroidi et bouché par l'emploi de charbon trop maigre et trop fin, est devenue insuffisante faute de tirage, on est quelquefois forcé d'établir horizontalement dans le fond de l'appareil un grillage artificiel, pour faciliter l'entrée de l'air; c'est une opération très-incommode, et qui d'ailleurs, ne ravivant la combustion que momentanément, ne met pas à l'abri d'un nouvel arrêt, si l'on continue à charger le même charbon.

à produire assez économiquement une quantité double de gaz; je crois que, malgré la dépense, il peut être préférable d'employer plutôt deux appareils simples installés l'un à côté de l'autre; que, sous l'influence du vent ou d'autres circonstances, un côté, dans ces grands appareils, doit généralement marcher mieux que l'autre, peut-être lui nuire, et que, par conséquent, on n'arrive pas toujours à doubler la production de gaz. D'ailleurs, le principe et les conditions de marche de ces grands générateurs sont absolument les mêmes que pour les générateurs ordinaires.

Je ne dirai rien non plus de l'emploi du bois comme combustible; cette application du procédé ne peut être qu'infiniment plus restreinte que celles fournies par la houille; il me suffira d'en noter le succès complet à la cristallerie de Baccarat.

De ce qui précède, il résulte toujours que le procédé Siemens obtient le gaz d'un combustible quelconque dans un appareil simple et sans le secours d'aucun moyen de soufflage; c'est ce qui en détermine la particularité; et si l'on peut quelquefois regretter qu'un soufflage ne vienne pas régulariser le tirage dérangé, il n'est pas moins vrai que c'est cette absence de moyen mécanique qui fait la supériorité de cette première partie du procédé, comparativement à la plupart des systèmes antérieurs.

J'ai hâte de passer à l'examen de la seconde partie, la partie vraiment intéressante du procédé, celle qui a pour but d'utiliser le plus complétement possible la combustion du gaz fourni par les appareils producteurs.

Avant d'arriver au four lui-même cependant, il est nécessaire de suivre le gaz depuis sa sortie du générateur. Il monte d'abord dans une cheminée d'au moins 4 mètres de hauteur (cheminée qui sera commune à tous les générateurs, si on en a plusieurs); c'est du haut de cette colonne que le gaz, dans des tuyaux de tôle élevés en l'air, se rend au four qui peut être très-éloigné, à 40^{m}, 50^{m}, 100^{m}, etc.; on donne en général 0^{m},60 de diamètre aux tuyaux pour une consommation de houille de 1,800 à 2,000 kil. par 24 heures, et au delà proportionnellement. Ces conduites à l'air libre ont l'avantage d'être facilement visitées, se refroidissant promptement, s'il est nécessaire d'y entrer; l'inventeur les recommande également comme refroidissant le gaz et lui donnant de la pression. Si l'on préfère cependant, pour une raison quelconque, employer des conduites souterraines en maçonnerie, on ne les fera commencer qu'à 5 ou 6 mètres du générateur, le gaz ne s'y rendant qu'après avoir parcouru la colonne montante, un tuyau à l'air libre de 5 à 6 mètres, et une colonne descendante. Le but de cette disposition est, en refroidissant le gaz, de lui communiquer une pression qui en assure l'écoulement comme dans une espèce de siphon. Ces points sont recommandés par l'inventeur comme essentiels, notamment la hauteur de la colonne montante, qui, au lieu de 4 mètres, devrait être de 5, 6, etc., suivant l'élévation du générateur lui-même par rapport au four; autant que possible, du reste, et en vue

d'assurer l'écoulement convenable du gaz, on doit plutôt enfoncer le générateur de façon que le plafond en soit tout au plus au niveau de la sole du four. Que la conduite soit en tôle ou en maçonnerie très-soignée, on doit évidemment se ménager les moyens de la visiter facilement; il est commode aussi d'y établir, notamment à la colonne montante, à la colonne descendante (s'il y en a), à l'arrivée près du four, de petits regards de 10 à 20 millim. de diamètre, dont il suffit de retirer le bouchon pour constater la pression du gaz, qui doit toujours être un peu supérieure à la pression atmosphérique.

Enfin, nous sommes au four.

Le point essentiel du four Siemens consiste dans cette idée très-ingénieuse et très-heureusement appliquée : reprendre à la flamme, alors qu'elle a traversé le four, et que, très-chaude encore, elle s'échappe perdue des appareils ordinaires, toute la chaleur qui lui reste, emmagasiner cette chaleur, et la restituer, dans un mouvement inverse, au gaz et à l'air comburant, avant leur entrée dans le four. On sait à quelle température énorme encore la flamme s'échappe des fours métallurgiques, par exemple; eh bien! c'est à une température voisine de 100° que la cheminée d'un appareil Siemens recueille les produits de la combustion.

Pour arriver à ce résultat, on interpose entre le four et la cheminée des chambres, appelées régénérateurs, garnies dans toute leur hauteur de briques réfractaires superposées et croisées, à travers lesquelles la flamme gênée et sans cesse brisée ne se meut, de haut en bas, qu'avec une extrême lenteur, abandonnant toute sa chaleur au contact de ces surfaces multipliées; les étages supérieurs de briques sont portés au rouge blanc; les étages inférieurs sont noirs. Si l'on imagine maintenant qu'à un moment donné la flamme cesse d'arriver dans ces chambres, et qu'au contraire on fasse déboucher dans le fond de l'une le gaz combustible, et de l'air dans le fond de l'autre, le gaz et l'air s'élevant, chacun dans une chambre, à travers les étages de briques, leur reprendront la chaleur qui s'y est accumulée, et arriveront au sommet des régénérateurs, à l'entrée du four, prêts à se combiner, et portés déjà chacun à 800°, 1000° ou 1200°. Pendant que ces chambres se refroidiront peu à peu, par leur passage, la flamme, dans sa direction nouvelle, en échauffera deux autres, qui, à leur tour, à l'inversion suivante, deviendront aussi chambres d'arrivée d'air et de gaz, tandis que la flamme reprendra son premier mouvement, et ainsi de suite.

4 régénérateurs, dont, à un moment quelconque, il y a toujours 2 pour la sortie de flamme, s'échauffant, 1 pour l'arrivée de gaz et 1 pour l'arrivée d'air, se refroidissant, et un système de valves qui réduise ces changements de courants, ces inversions, un peu compliquées au premier abord, à la simple manœuvre d'un levier, tel est tout le système, aussi pratique en réalité que la conception en est théoriquement remarquable, basée, comme l'a dit M. Faraday, sur des principes philosophiques.

La description du four se comprendra aisément maintenant; à quelque usage qu'il soit destiné, il peut, en général, conserver ses dimensions et sa forme ordinaire que l'on rend seulement symétrique, afin d'assurer la régularité du chauffage dans les deux sens dans lesquels la flamme le traverse alternativement (Pl. 39, *fig.* 2 et 3). A chaque extrémité du four (ou, sous la sole, dans deux positions symétriques) se trouve une chambre de mélange où l'air et le gaz viennent déboucher à une très-haute température, se combiner et brûler[1]. De chacune de ces chambres, deux conduits se rendent, l'un à un régénérateur à air que j'appellerai A (A'), l'autre à un régénérateur à gaz que j'appellerai G (G'). Sous le four est établi le massif des quatre régénérateurs A, A', G, G', dont les dimensions horizontales varient naturellement avec celles du four lui-même, mais qui doivent toujours contenir au moins 10 à 12 étages de briques, c'est-à-dire en comprenant la hauteur nécessaire entre la voûte et l'assise du dessus, et le passage ménagé au fond sous l'assise inférieure, avoir au moins $1^m,75$ à $2^m,20$ de haut. Chaque étage de briques se compose de 4, 5 ou 6 rangées, laissant entre elles un vide égal ou un peu inférieur au plein, chaque rangée étant formée de briques réfractaires de champ, bout à bout, et chaque joint, sans mortier, portant sur de petites briques d'environ 5 centim. de large sur 5 centim. de haut, posées transversalement; les files pleines d'un étage recouvrent (à 5 centim. au-dessus) les vides de l'étage inférieur, et ainsi de suite; quant au premier étage, du bas, les files de briques portent de distance en distance (de joint en joint) sur de petites voûtes réfractaires transversales ayant 6 à 8 centim. d'épaisseur. C'est sous cette voûte à claire-voie que vient, dans chaque régénérateur, déboucher le conduit qui sert alternativement, dans les régénérateurs A et A' à l'air et à la flamme, dans les chambres G et G' au gaz et à la flamme. Les conduits des deux premiers arrivent tous deux à la valve, dite valve à air; ceux des deux autres arrivent à la valve à gaz.

La valve de M. Siemens est la clef du système; c'est elle qui a permis à un principe ingénieux de passer dans le domaine de la pratique la plus courante. Elle représente en grand, et appliqué à des gaz, ce qu'est ordinairement un robinet à quatre voies (Pl. 39, *fig.* 4 et 5); quatre conduits aboutissent à chacune : 1° au-dessus, par exemple (je prends la valve à gaz), l'arrivée du gaz des appareils producteurs; 2° au-dessous, le conduit allant vers la cheminée; 3° à droite, un conduit allant vers le régénérateur G; 4° à gauche, un autre allant vers G'; et suivant les deux positions du clapet, on fera communiquer G avec l'arrivée de gaz, et en

1. Il y a des cas où l'on supprime cette chambre, et où la combinaison se fait dans le four lui-même; cette disposition a certainement l'avantage d'utiliser directement la chaleur de la combustion dès sa formation, mais cela nuit peut-être au parfait mélange, et par suite à la réalisation des meilleures conditions de marche, qui doivent se trouver dans une certaine proportion d'air et de gaz, sous peine ou d'introduire trop de gaz, et ce serait un excédant perdu, ou trop d'air, et ce serait une cause d'oxydation.

même temps G′ avec la cheminée, ou G avec la cheminée et G′ avec le gaz arrivant. De même pour la valve à air, nous aurons, au-dessus, l'arrivée de l'air du dehors; au-dessous la communication avec la cheminée; à droite, le conduit allant au régénérateur A (celui qui fonctionne toujours dans le même sens que G); à gauche, le conduit allant à A′ (le pendant de G′). Ces valves sont en fonte, soigneusement ajustées, et enclavées dans la maçonnerie; le clapet, également en fonte, est monté sur un arbre en fer que l'on manœuvre au moyen d'un levier extérieur. La température n'y atteignant jamais un degré assez élevé pour gauchir les surfaces et rendre incomplète la fermeture du clapet, on peut dire que le fonctionnement de cette pièce est tout à fait satisfaisant.

Il peut se présenter des circonstances où les valves, par suite du rapprochement des générateurs et du four, par exemple, soient exposées à une trop grande chaleur et à des chances de détérioration; on peut alors les remplacer par un système de doubles tiroirs; mais c'est aux dépens de la simplicité.

Si l'on ajoute entre la valve et le tuyau d'arrivée de gaz, dans un cas, entre la valve et l'air extérieur, dans l'autre, un papillon, un registre quelconque, souvent une soupape en champignon, manœuvrée au moyen d'une tige filetée et d'un écrou, on aura le moyen de fermer et d'ouvrir la communication du four avec le gaz et avec l'air, de modérer les quantités introduites de l'un et de l'autre, d'en régler les proportions, de diriger par conséquent le chauffage suivant les besoins et d'après toutes les circonstances du travail, et l'appareil sera complet.

Quelques mots seulement de la cheminée, construite en briques ordinaires, à une distance quelconque du four et communiquant avec lui par un conduit muni d'un registre, qui se bifurque vers les deux valves; une cheminée peut sans inconvénient être commune à plusieurs fours : ce n'est qu'une question de dimensions. Il ne faut, dans aucun cas, d'ailleurs, en ménager la hauteur ni la section; la cheminée qui suffit à un four à foyer direct peut, en général, suffire au même four transformé en four à gaz, mais à la condition d'être en bon état, et de n'avoir point été détériorée par la température souvent très-élevée supportée jusque-là; sinon, dans une construction neuve, mieux vaudrait augmenter un peu les dimensions; la cheminée n'a en effet qu'une température très-basse; et si, en travail, on n'a besoin que d'un faible tirage, il est, dans certains moments, à la mise en train notamment, nécessaire de pouvoir disposer d'un puissant appel, auquel font obstacle les difficultés du passage à travers les régénérateurs; c'est également en vue de la mise en train, après un arrêt prolongé, que l'on doit toujours se donner le moyen d'établir au bas de la cheminée un foyer auxiliaire, que l'on allume seulement quelques heures, pour déterminer le tirage.

Voyons maintenant en quoi consiste la conduite générale de ces fours; et d'abord, notons que le travail lui-même auquel ils sont destinés n'est

exposé qu'à de très-légères modifications, fournies par chaque cas particulier; j'y reviendrai tout à l'heure en ce qui concerne les fours métallurgiques. Quant au chauffage, il se fait, pour ainsi dire, tout seul. Que les appareils générateurs soient maintenus en bonne allure, que leur production de gaz soit régulière avec un petit excès constant de pression, et il y aura peu à s'occuper du four lui-même.

Il faut cependant d'abord régler les quantités de gaz et d'air que l'on devra y envoyer; ces quantités et les proportions sont très-variables suivant les dimensions du four, le travail auquel il est destiné, la température qu'on doit y développer, le tirage qu'on y maintient, etc. En supposant, par exemple, que la soupape d'admission de gaz ait 0m,45 de diamètre, on la lèvera, pour commencer le chauffage du four, à la mise en train, de 2 à 3 centim.; à mesure que la température augmentera, et qu'on pourra, sans inconvénient, pousser davantage, on donnera plus de gaz, et on arrivera, en travail, à une levée qui varie de 5 *centim.* dans certains cas, à 8, 10, 12, 15 centim. dans d'autres. On a trouvé *qu'en* général, pour des fours marchant avec un faible tirage, la proportion la plus convenable était de fixer l'admission de l'air à la moitié de celle de gaz; soit 5 centim. d'air contre 10 centim. de gaz; souvent on donne davantage; surtout si le tirage de la cheminée est très-peu énergique, il y aura lieu d'augmenter l'ouverture de la valve à air, puisque, l'air n'agissant point comme le gaz par une pression propre, son admission ne peut être déterminée que par l'appel; à l'usine à gaz de Vaugirard, on donne notamment presque toujours plus d'air que de gaz. Si, au contraire, comme dans des fours à souder le fer, on a besoin d'une flamme aussi réductrice que possible; on n'introduira qu'un tiers d'air, ou même moins. Dans ces fours, d'ailleurs, comme dans tous les autres, l'augmentation de la proportion d'air, tout en élevant la température développée par la combustion au point même où elle commence, a pour effet de raccourcir la flamme; et c'est au contraire en réduisant l'air au minimum que l'on obtient, le tirage restant le même, le maximum de longueur de flamme. C'est le tâtonnement qui, dans chaque application, fera trouver les rapports les plus convenables, rapports qu'il pourra souvent être utile de varier dans le cours du travail lui-même. A-t-on besoin, à un moment donné, dans un four de verrerie, par exemple, pendant la fonte, d'une chaleur intense, on fera arriver l'air et le gaz en grande abondance, tandis que, pendant la période de travail, la chaleur devant être moindre, on diminuera ces quantités. A-t-on besoin, pour certaines opérations, d'une flamme franchement oxydante, on forcera la proportion d'air, et on saura de combien. A-t-on intérêt à combattre la tendance à l'oxydation, on ne laissera pénétrer que le minimum d'air nécessaire à la combustion complète du gaz introduit.

Ce point réglé, il faut s'occuper de changer la position des valves à des intervalles également déterminés. Supposons l'appareil en marche,

l'air et le gaz arrivant régulièrement; les régénérateurs qu'ils traversent se dépouillent peu à peu de leur chaleur à leur profit, tandis que la flamme échauffe les deux autres. Si l'on maintenait les valves très-longtemps dans le même sens, sans faire l'inversion du courant, peu à peu l'air et le gaz, traversant des régénérateurs de plus en plus refroidis, arriveraient eux-mêmes moins chauds au four; et il pourrait se faire qu'à un moment donné, en prenant les choses à l'extrême, les pertes extérieures, compensant la chaleur développée par la seule combustion, l'air et le gaz arrivassent assez froids pour que la température du four diminuât au lieu de s'élever. Qu'on fasse au contraire une inversion de valves, aussitôt on verra la flamme s'arrêter dans le four; il y aura un instant, quelques secondes, où il sera vide de flamme que bientôt on verra revenir en abondance, du côté précisément par lequel elle sortait tout à l'heure; en quelques minutes, la température du four s'élèvera rapidement, un changement de valves étant toujours suivi de la période la plus chaude. Si l'on ne changeait les valves qu'à très-longs intervalles, non-seulement le four lui-même resterait longtemps stationnaire, mais on ne pourrait même augmenter, au delà d'un certain point, la chaleur des régénérateurs de descente; ce serait la cheminée que l'on finirait par échauffer, et ce n'est pas du tout ce que l'on cherche. Si l'on suppose maintenant des inversions très-fréquentes, qu'arrivera-t-il? Le gaz et l'air, en arrivant, n'enlèveront plus aux régénérateurs qu'une faible partie de la chaleur emmagasinée, cela est vrai; mais aussi n'auront-ils pas le temps d'en laisser beaucoup à la descente; on perdrait le bénéfice presque toujours utile du coup de feu dû à l'inversion. Il ne faut pas les faire trop attendre, mais il ne faut pas non plus les précipiter; on s'exposerait ainsi à ne pas pouvoir dépasser un certain degré de chaleur : le résultat de cette espèce d'équilibre établi entre les régénérateurs par des changements de valves trop fréquents serait un équilibre analogue dans la température du four, qui, arrivée à un certain degré, ne le dépasserait pas[1]. La règle sera évidemment entre les deux extrêmes, mais modifiée, dans chaque cas particulier, par les dimensions des régénérateurs, la nature et les exigences du travail, etc. La durée la plus longue indiquée est d'environ deux heures; je crois que la plus courte peut être fixée à une demi-heure; il est bon de faire coïncider les inversions avec certaines circonstances du travail qui se reproduisent régulièrement, l'enfournement, par exemple, ou le coup de feu final qui précéderait de quinze ou vingt minutes l'achèvement d'une charge.

C'est l'excès de pression du gaz qui en assure le mouvement jusqu'au

1. On comprend que, dans certains cas au contraire, il puisse être utile de maintenir dans un four, au moyen de fréquentes inversions de valves, une régularité presque parfaite de température; et c'est encore un avantage du système de permettre de réaliser cette condition qu'il est difficile d'atteindre aussi complétement dans un four à foyer direct.

fond des régénérateurs. A partir du four, il est soumis au tirage de la cheminée; mais on réduit ce tirage à sa plus faible limite, strictement pour que le gaz puisse se mouvoir, et que l'air soit appelé au champignon. On cherche toujours à avoir, à l'intérieur du four, une pression du dedans au dehors; dès qu'une porte est ouverte, la flamme doit s'en échapper; et non-seulement on évite ainsi la rentrée d'air, cause d'oxydation et de refroidissement, mais, par ce tirage très-faible, la flamme, s'étendant très-longue et abondante à travers le four, en remplissant toutes les parties, donne déjà ainsi sur la sole elle-même toute la chaleur possible, avant d'en porter le reste aux régénérateurs.

De plus, cette flamme si lente est assez propre, assez exempte de corps étrangers entraînés, pour que le déchet des matières traitées soit souvent réduit, et pour que des verreries, qui ne pouvaient employer que des pots couverts, leur aient, avec les fours Siemens, substitué sans inconvénient des pots découverts, infiniment plus commodes.

Le degré de chaleur auquel il est possible d'arriver dans ces fours est également un avantage considérable. M. Faraday estime que la température développée par la combustion du mélange gazeux est à peu près de 2200°, auxquels les régénérateurs peuvent en ajouter jusqu'à 1700. Il n'est pas besoin d'arriver à ces chiffres énormes pour satisfaire toutes nos industries.

En résumé, le procédé de chauffage, dont je viens d'exposer les principales conditions, présente les avantages généraux suivants :

1° La possibilité d'obtenir une température pour ainsi dire illimitée, sans grand tirage;

2° Une grande pureté de flamme, qui, dans beaucoup de cas, doit influer avantageusement sur la qualité du produit, et réduire les déchets;

3° La possibilité de régler, à volonté, l'intensité de la flamme, ainsi que sa composition chimique, en transformant, dans de certaines limites, son pouvoir oxydant en pouvoir réducteur, et réciproquement;

4° L'utilisation de combustibles que, dans certaines régions, il peut y avoir utilité ou nécessité à consommer, et dont l'industrie actuelle a peine à tirer parti;

5° Enfin, ce qui est le point essentiel, une très-grande et très-réelle économie de combustible. Propre surtout, ou mieux, propre seulement aux opérations qui exigent une très-haute température, le procédé y présente une économie que l'inventeur évalue de 40 à 60 p. 100. S'il est impossible d'apprécier ce chiffre par le calcul, on comprend cependant que ce système se trouve dans des conditions tout à fait favorables, comparées à celles des foyers ordinaires, pour l'utilisation la plus complète du combustible; et l'on n'est pas surpris des résultats qu'a donnés la pratique, seul guide en pareille matière.

Voici quelques-uns de ces résultats, obtenus dans des usines où le procédé fonctionne pour des travaux très-divers :

Fabrique de glaces de Montluçon (la première usine française qui ait établi le procédé Siemens), économie 40 à 45 p. 100, four à 14 pots; consomme aux générateurs de la houille maigre à longue flamme, très-sale, de Bèzenet (Commentry); la houille est si sale que l'on est forcé de mettre, pour ainsi dire, bas les appareils générateurs toutes les vingt-quatre heures pour décrasser;

Fabrique de glaces de Saint-Gobain; économie 40 p. 100; consomme de la houille de Denain mélangée avec du charbon maigre de Belgique;

Cristallerie de Baccarat; économie 50 p. 100, en consommant du gaz de bois; 3 fours en marche;

Cristallerie de Saint-Louis; consomme du charbon de Saarbrück, très-sale, maigre à longue flamme; bonne économie réalisée; j'ignore comment elle se chiffre;

Cristallerie de M. Maës, à Clichy; économie 30 à 40 p. 100; 2 fours en marche, 1 en construction; consomme de la houille de Blanzy;

Usine à gaz de Vaugirard; économie 15 à 25 p. 100; après des embarras que la nature spéciale du combustible, la hauteur relative des fours et des premiers grands générateurs doubles établis, et surtout les changements dans les conditions de la fabrication même du gaz d'éclairage, ont prolongés beaucoup, et dont on commence à peine à sortir;

Usine de M. Émile Martin, à Sireuil (Charente); four à souder l'acier puddlé, bandages, etc.; économie 40 p. 100; houille anglaise mélangée d'un quart d'anthracite de Galles;

Forges de Sougland; four à souder le fer; 35 à 45 p. 100 d'économie; houille demi-grasse, de Charleroy; ou mélange de 3 de houille grasse de Mons avec 2 de maigre de Charleroy; four à puddler, même charbon; économie 25 p. 100, tout en marchant dans des conditions exceptionnellement défavorables.

A ces chiffres dont j'ai été à même d'établir personnellement une partie, et dont les autres m'ont été obligeamment fournis, j'ajouterai encore :

La verrerie de Maëstricht, qui a trouvé 38 p. 100 d'économie, consommant du charbon de Liége;

L'usine à zinc de Saint-Léonard (Vieille-Montagne), qui, il y a trois mois, n'avait encore obtenu que 25 p. 100, mais avait de bonnes raisons pour compter ne pas en rester là, consommant du bon demi-gras.

Enfin, le remarquable exemple cité par M. Salvetat, la verrerie de MM. Lloyd et Sommerfield, à Birmingham, qui a pu remplacer sa consommation hebdomadaire de 35 tonnes de houille à 13f,80 par 16 tonnes à 5f,30.

J'arrête ici la liste des industries où la mise en pratique du procédé Siemens a donné ces importants résultats; on voit que partout on est arrivé à une notable économie dont la moyenne peut être comprise entre 30 et 40 p. 100. Cette économie, se réduisant, quand on appliquera le

procédé à des opérations qui s'accomplissent déjà dans de bonnes conditions, s'élèvera au contraire d'autant plus que les appareils remplacés seront plus imparfaits, qu'on aura besoin d'une plus haute température, et qu'il y aura lieu d'utiliser des combustibles jusque-là sans emploi. On comprend encore que, dans chaque application, les dispositions du four lui-même doivent avoir une influence capitale, indépendante du procédé, mais capable d'en restreindre, d'en annihiler même, ou bien d'en augmenter les avantages. Je n'ai pas voulu accepter les chiffres généralement supérieurs d'économie, obtenus en Angleterre; ils donnent, en moyenne, près de 50 p. 100; mais si nos usines françaises, au début même, pour la plupart, de leur application, à peine sorties de la période des tâtonnements, réalisent déjà 30 à 40 p. 100 d'économie; il me paraît permis de considérer 40 p. 100 comme une base d'appréciation nullement exagérée, et de la présenter comme le dernier avantage de la mise en pratique du procédé Siemens.

Il y a une question à côté de laquelle j'ai passé jusqu'ici, et qui se présente cependant comme la première et la plus grosse objection à opposer aux avantages du système : je veux parler de l'engorgement des conduites par les dépôts goudronneux, pâteux ou pulvérulents, que le gaz abandonne inévitablement dans son parcours, et, par suite, des moyens de nettoyage. Ce n'est pas au four lui-même, ni dans les régénérateurs, qu'il y a chance d'obstruction; la température y est trop élevée pour que de tels dépôts puissent exister; et le gaz d'ailleurs s'est débarrassé, avant d'arriver aux valves, de tout ce qui était susceptible de se déposer. C'est dans les conduites depuis les appareils générateurs jusqu'aux valves, c'est surtout dans les coudes, dans les passages où le gaz se meut le plus lentement ou séjourne, autour des champignons ou des papillons, par exemple, que s'emmagasinent les goudrons et les suies. L'abondance et la nature des dépôts varient du reste beaucoup suivant la nature du combustible employé. Nuls avec du coke, je crois qu'avec des houilles demi-grasses, et à plus forte raison des houilles maigres, ils sont généralement très-faibles. Tandis que le gaz de bois arrive quelquefois à boucher en peu de jours les conduites voisines des appareils, j'ai vu des conduites, traversées pendant cinq et six semaines par du gaz de houille et ne présentant pas 1 centimètre d'épaisseur de suie (un peu plus seulement aux premiers coudes, et un mélange de goudron et de suie autour du champignon, mais pas assez pour causer la moindre gêne au travail).

La méthode de nettoyage est d'ailleurs la même dans tous les cas : elle consiste à brûler les dépôts, en mettant le feu à partir de la valve, et déterminant le tirage par le haut de la colonne du générateur; de proche en proche, l'embrasement se communique; une épaisse fumée noire se dégage, et l'on arrive, en une ou deux heures, à un très-bon nettoyage, qu'il est bon, de temps en temps au moins, de faire suivre d'un raclage dont on s'est ménagé les moyens dans la construction.

Il ne faut pas hésiter, dès qu'on remarque des symptômes d'engorgement, par exemple, abondance de gaz aux générateurs et déficit au four, à faire ce nettoyage; on arrête, il est vrai, le travail pour deux ou trois heures, mais on rattrape bien ensuite le temps perdu par une meilleure marche. Cette opération, du reste, n'a rien que de très-simple; et je pourrais citer un établissement qui, à cause de circonstances particulières (du gaz de bois mal produit), a marché pendant quelque temps, en se résignant à brûler ses goudrons trois fois par semaine. En opposition à cet exemple tout à fait extrême, j'ai vu essayer de brûler les dépôts d'une conduite qui avait marché plus d'un mois au gaz de houille demi-grasse, où il n'y avait absolument rien à brûler; on en était venu à ne plus nettoyer que tous les trois ou quatre mois, sauf le champignon, qu'il est toujours facile de visiter, pendant des arrêts de travail, comme en ont la plupart des industries, tous les mois par exemple. On voit que l'inconvénient des goudrons et des suies se réduit à peu de chose; et si, dans certaines industries, il peut être gênant d'interrompre pour quelques heures le travail, tous les quinze jours, ou tous les mois, ou tous les deux mois, dans beaucoup d'autres, il est facile de profiter, pour faire le nettoyage, de la fin d'un train, de l'arrêt régulier d'un four. C'est dans ce cas notamment que se trouvent les usines à fer, dont je vais m'occuper maintenant.

II

C'est aux forges de Sougland que l'on a construit, en France, le premier four Siemens, destiné à la métallurgie du fer; en Angleterre, même, c'était plutôt à certaines fabrications spéciales, notamment au soudage et à l'étirage des tubes, qu'à la production du fer en grand, que l'industrie l'avait appliqué.

Il s'agissait d'un four à souder. Celui qu'il devait remplacer avait $2^{m},07$ de longueur, $1^{m},60$ de largeur maxima; le foyer 1 mètre de large sur $0^{m},85$ de long; la voûte était élevée au-dessus de la sole de sable de 55 centimètres auprès de l'autel, de 44 centimètres au milieu de la porte, de 40 centimètres de l'extrémité; le four consommait, par 24 heures, 3,000 ou 3,500 kil.; en moyenne, 3,400 kil. de bonne houille grasse; on y faisait, en tirant une moyenne des différentes variétés de la fabrication, de 12 à 16 charges en vingt-quatre heures, chaque charge de 12 à 14 paquets pesant chacun 44 kil. à 50 kil., produisant en bidons, rognés à mesures justes, en dehors des bouts et des rebuts, environ 5,600 kil.; les paquets destinés à la fabrication de la tôle fine de commerce, tantôt en fer fort, tantôt en fer tendre, devaient, dans tous les cas, être soumis à une température un peu plus élevée que s'il s'agissait de fer marchand ordinaire; bref, pour la fabrication de 1000 kil. de bidons rognés, on

consommait en moyenne 600 kil. de houille, et en fer, compensation faite des bouts, 1125 p. 1000.

Le charbon revenait à un prix élevé; on eut l'idée d'essayer le procédé Siemens qui promettait, en outre de l'économie de combustible, une réduction sur le déchet. La consommation journalière étant moyennement de 3400 kil., et le procédé annonçant 50 p. 100 d'économie, c'est-à-dire devant la ramener à 1700 kil., nous construisîmes un seul appareil générateur dans les dimensions que j'ai indiquées. Les conduites furent établies sous terre; une cheminée fut élevée de 20 mètres de hauteur et 76 centimètres de section carrée au sommet, devant plus tard servir à deux ou même à trois fours. Je ne rappellerai pas tout ce qui, dans la construction du four lui-même, se rapporte à l'établissement du procédé suffisamment décrit, je dirai seulement qu'à cause du voisinage de l'eau, qui limitait nos travaux en profondeur, nous ne pûmes donner que dix étages de briques (même assez petites) aux régénérateurs; et encore fallut-il pour cela des travaux hydrauliques, fort délicats en pareille circonstance. Le four, de 2 mètres de long et $1^{m},60$ de large, présentait, à cause de sa forme symétrique, une surface de sole au moins égale à celle de l'ancien; une ouverture pratiquée en face de la porte devait servir à l'écoulement des laitiers; la sole de sable en recouvrait une en fonte sous laquelle était ménagée une circulation d'air; la voûte était, au milieu du four, à 55 centimètres au-dessus de la sole de sable; une forme assez fortement bombée ramenait cette hauteur aux deux extrémités du petit axe à 40 centimètres du côté de la porte, et 35 centimètres au fond, et à environ 50 centimètres aux deux extrémités du grand axe près des autels. L'entrée et sortie de flamme se faisait, à chaque extrémité du grand axe, au-dessus des autels par des ouvertures de $0^{m},60$ de large sur $0^{m},40$ de haut.

Il semblait qu'avec une flamme très-volumineuse, animée d'une faible vitesse et léchant parfaitement tous les coins du four, on pût, sans inconvénient, adopter ainsi pour l'espace libre à peu près les mêmes dimensions que dans le four à foyer direct; l'expérience nous a prouvé le contraire; nous arrivions à chauffer à une température très-élevée la voûte du four, et la sole, pas assez. La qualité du gaz étant convenable, son arrivée régulière et sans doute suffisante, d'après les indications fournies par les autres applications, il fallut chercher le défaut dans le four lui-même; c'est une circonstance qui doit se présenter maintes fois, et il ne faut pas se hâter de mettre sur le compte du mode de chauffage essayé un insuccès dû seulement à ce que la construction du four ne répond pas convenablement aux besoins nouveaux. M. Siemens conseille de faire très-grand le débouché de la flamme, en se plaçant au point de vue du mélange le plus intime et le plus complet d'air et de gaz; il n'hésite pas non plus à laisser à la flamme de grands espaces à remplir. Je ne partage pas cette opinion; et c'est à une tendance tout opposée que nous fûmes

conduits. La section d'entrée et de sortie de flamme fut réduite sur sa hauteur de 40 centimètres à 25 centimètres, trouvant plus d'avantage à diminuer l'échappement que d'inconvénient à restreindre l'entrée, dans une certaine limite. Et surtout, afin de forcer la flamme à lécher davantage la sole même, la voûte fut notablement abaissée, de $0^m,14$ au milieu, en supprimant presque tout à fait le bombement dans le sens du petit axe. Voûte plate, section d'échappement restreinte, sans aller évidemment jusqu'à gêner l'entrée du mélange d'air et de gaz, et enfin réduction au minimum de l'espace laissé à la flamme; tels sont les trois points que je crois utile de recommander dans la construction de ces fours, à quelque usage spécial qu'ils soient destinés; que, dans le cas présent, l'ouvrier ait juste la place nécessaire pour ranger et retourner au besoin ses paquets sur la sole, c'est tout ce qu'il faudra. J'ai vu, dans des fours à puddler à foyer ordinaire, cette tendance assez naturelle à surbaisser la voûte, amener souvent une suroxydation et une diminution dans le rendement; mais, dans le four à gaz, cela ne me paraît plus à craindre, la proportion d'oxygène libre pouvant être réduite presque à volonté, et, dans tous les cas, étant infiniment moins considérable. En somme, nous n'avons plus rien changé aux dimensions du four modifié une seule fois, comme je viens de l'indiquer (Pl. 39, *fig.* 2 et 3); ce four marche depuis un an, et un autre vient d'être construit sur le même plan.

Comment s'est passée cette marche d'une année, et quels en ont été les résultats? Un point capital a presque constamment dominé cette période : l'insuffisance de gaz. Tranquilles du côté du four, ce sont les dérangements de l'appareil générateur qui ont été la cause trop fréquente de dérangements analogues dans l'allure du four et de mauvaise marche. Pour maintenir un générateur en bon état et dans de bonnes conditions, il ne faudrait pas le pousser au delà d'une consommation de 1600 kil. à 1800 kil. de houille[1]. Or, pour faire produire au four autant que produisait l'ancien, avec une économie de 50 p. 100 de combustible, il fallait compter brûler 1700 kil. par vingt-quatre heures; nous nous trouvions tout juste à la limite. Et, si on tient compte, à cette limite, de toutes les irrégularités produites par les essais forcés de charbons, avec le même charbon, par les variations de qualité qu'il subit, des négligences inévitables de la part des ouvriers chauffeurs, on pourra deviner de nombreux embarras. En effet, après un train dans d'excellentes conditions, des semaines arrivaient toutes différentes; après de bonnes journées, de déplorables; c'est qu'à cette limite, un léger manque de gaz se traduit par l'impossibilité absolue de travailler. Nous fîmes un générateur un peu plus grand que le premier; mais la largeur des grilles n'était pas augmentée; la production le fut très-peu; nous étions encore trop près

1. Au coke, on brûle facilement davantage.

de la consommation maximum, tout en y brûlant quelquefois jusqu'à 2000 kil. de charbon.

Un seul générateur, avec les irrégularités auxquelles sa conduite est exposée, est insuffisant. Quant notre appareil marchait bien, et je dois dire qu'il était presque toujours maintenu dans cette allure normale, le four de même fournissait un excellent travail; mais les moindres dérangements se traduisaient souvent par 2 heures, 3 heures, 4 heures d'arrêt; ou, si l'on essayait de travailler, le fer, après avoir passé 3 heures dans le four, avait perdu de son poids 10 ou 15 p. 100 de trop. On ne peut espérer, en effet, le mettre complétement à l'abri de l'oxydation dans une flamme qui contient des hydrocarbures, et où d'ailleurs la proportion d'air, réglée, suffisante quand le gaz est abondant, devient vite trop forte si l'arrivée de gaz se ralentit.

J'insiste peut-être trop sur ces détails; mais il y a là un écueil dans lequel on est naturellement porté à donner : si un générateur peut suffire, on trouve avantageux de n'en faire qu'un; c'est une économie toute nette; et on met ainsi, dès le début, contre soi, la chance d'un mauvais travail. Et cependant, c'est le travail produit qu'il faut voir; s'il s'agit d'un four à souder, à gaz ou à foyer direct, ce qu'on lui demande, c'est du fer convenablement chauffé, qui soude bien, sans pailles, sans criques, etc., et cela avant tout. On peut penser que le générateur unique, souvent insuffisant pour une marche régulière du four égale en production à celle de l'ancienne, pourrait peut-être convenir, économiquement encore, en n'exigeant du four qu'une moindre production. Sans doute, jusqu'à un certain point; mais, d'abord, un appareil nouveau qui entraînerait avec lui une réduction notable dans la production aurait, par cela seul, selon moi, un vice radical; la construction du four à gaz est chose coûteuse, et si l'on ne devait, avec ce four, produire que les deux tiers de ce que rend un autre, fût-ce encore avec une belle économie de combustible, l'économie réelle courrait grand risque d'être fort au-dessous de l'apparence, en tenant compte de tout.

Ajouterai-je que, si au lieu de 14 charges on n'en fait plus que 10, le fer qui aura passé un tiers plus de temps au four n'aura plus la même qualité; il sera devenu plus ou moins cassant; sa surface sera souvent crasseuse. Il sera enfin impossible de dérober, quoi qu'on fasse, les paquets à l'oxydation. Même en réduisant à presque rien la proportion d'air, je n'ai jamais pu éviter tout à fait l'oxydation dans le four; elle ne commence que quand le fer est déjà à une haute température; c'est à peu près à 1200° ou 1300° que l'oxyde formé vers 500° fond et pénètre entre les lames du paquet; vers 1400°, le fer s'oxyde de nouveau; et c'est précisément à ces températures que le fer reste longtemps exposé en présence d'hydrocarbures, de vapeur d'eau, etc., dans un four qui ne chauffe pas; il y arrive et ne peut dépasser ce point qu'à grand'peine.

J'ai fait sur un assez grand nombre de charges, qui sont restées des temps inégaux dans l'intérieur du four, presque toutes dans de mauvaises conditions de chauffage, des expériences concluantes : des charges dont le soudage a exigé de 1 h. 50′ à 2 h. 5′ (passage au laminoir compris) m'ont donné en moyenne 12%,7 de déchet;

Des charges, qui ont séjourné de 2 h. 10′ à 2 h. 20′, ont accusé 15%,6;

Des charges, qui sont restées de 2 h. 30′ à 2 h. 40′, ont donné, en moyenne, 17%,2;

Enfin, des charges qui sont restées de 2 h. 55′ à 3 h. 15′ ont donné 20 p. 100.

Lorsque les charges, au contraire, se font dans de bonnes conditions, que les paquets ne restent pas trop longtemps au four, on les en voit sortir remarquablement propres, leur surface exempte d'altérations; de fines rognures, des liens de fer rond du plus petit calibre, sont retirés du four tels qu'on les y a mis; et le déchet est au-dessous de 10 p. 100.

On voit de quel intérêt il est, pour un four, d'être régulièrement et suffisamment alimenté de gaz. La possibilité de limiter la quantité d'air introduite promet certainement une diminution de déchet; et dans un four à souder, une économie de 2 à 3 p. 100 sur le fer a plus d'importance souvent qu'une de 30 à 40 p. 100 sur le combustible; mais on n'y arrive qu'à la condition que des irrégularités dans l'arrivée du gaz ne viennent pas déranger les proportions établies. Il n'est pas bon que la manœuvre des registres qui règlent l'arrivée d'air et de gaz une fois arrêtée, soit laissée à la discrétion des ouvriers; et il ne faut pas, par conséquent, que, si une certaine proportion d'air a été reconnue la plus convenable en marche normale, des oscillations dans la production et la consommation du gaz viennent troubler cette proportion. Il ne faut donc pas craindre de mettre en feu, pour un four à souder, deux appareils générateurs; on ne leur fera pas produire le double d'un seul; mais ils seront en mesure de donner trop, ce qui est nécessaire pour avoir toujours assez. C'est à cette conclusion que nous sommes arrivés, et nous avons fini par mettre, pour le four, deux appareils en marche. Sans doute, en faisant brûler 1800, 2000 ou 2200 kil. de houille dans les deux appareils, c'était peut-être leur demander trop peu pour une très-bonne allure; mais alors il devenait moins intéressant d'arriver précisément à cette sorte d'allure-type; si l'un des deux marche moins bien, l'autre couvre cette irrégularité, et une compensation s'établit. Cette nouvelle marche nous a donné, sans doute, pour 1000 de fer produit une dépense de combustible un peu plus forte; mais nous avons remis ainsi le four sur un pied de production supérieur, ou au moins égal aux fours ordinaires; nous en avons obtenu des produits au moins aussi satisfaisants, et enfin, au lieu de supporter un déchet plus considérable, comme cela nous arrivait souvent avec un seul générateur, non-seulement nous som-

mes revenus à notre ancienne moyenne, mais nous sommes parvenus à la réduire.

Si, au lieu d'un four de 2 mètres sur 1m,60, nous en avions eu un plus grand, celui-ci se fût trouvé dans d'excellentes conditions pour marcher avec deux générateurs; pour nous, un seul était trop peu; deux étaient un peu trop, au point de vue de l'économie. On serait naturellement encore dans de meilleures conditions s'il s'agissait, non pas d'un four, mais de plusieurs, alimentés par un ensemble de générateurs, dont le nombre suffisant serait la meilleure garantie de régularité.

Est-il possible, maintenant, les deux générateurs étant donnés, en augmentant dans le four les quantités d'air et de gaz, d'accélérer de plus en plus le travail? Cela eût pu être intéressant, pouvant disposer d'un excès de gaz; mais il n'en est pas ainsi. Au delà d'une certaine limite, la dépense d'une quantité plus considérable de gaz est presque en pure perte, et à coup sûr elle n'est plus proportionnelle à l'augmentation de production. Il y a, pour chaque four, un certain état d'équilibre répondant aux meilleures conditions; c'est une espèce de maximum. Si les proportions du four sont conçues de façon à donner une certaine production, les régénérateurs calculés pour retenir la chaleur d'une certaine quantité de gaz, etc., on n'arrive, en en fournissant davantage, qu'à envoyer trop de chaleur dans les régénérateurs, à en échauffer le bas outre mesure, et bientôt la cheminée, dont la température s'élèverait à 300 ou 400°. Le procédé ne fonctionne plus.

Nous avions, en général, une levée de 8 à 10 centimètres au champignon à gaz. En même temps cherchant toujours à avoir la flamme la moins oxydante possible, et modérant le tirage du four, de façon que l'air extérieur ne fût jamais appelé par la porte, et que la flamme au contraire tendît toujours à sortir au dehors, nous ne donnions guère plus de 3 centimètres d'air. Mais je crois que cette quantité est insuffisante, et qu'il vaudrait mieux la porter à 4 ou 5 centimètres, avec grande chance de gagner en rapidité de chauffage, sans augmenter l'oxydation [1].

La manœuvre des valves d'inversion, confiée aux maîtres chauffeurs, se fait deux fois par charge; la première, environ une demi-heure après avoir enfourné, et la seconde un quart d'heure avant de passer la charge; il est bon que les durées du mouvement dans les deux sens soient égales, pour qu'il n'y ait pas un côté du four qui chauffe plus que l'autre.

C'est en marchant dans ces conditions que, avec une consommation de houille de 2000 kil. en moyenne par 24 heures, on passe 13 à 14 charges de 13 paquets, fournissant environ 5600 kil. de bidons rognés; soit une

1. Des expériences faites à l'usine de Vaugirard ont toujours indiqué dans les produits de combustion arrivant à la cheminée, quand on obtenait le meilleur chauffage, une certaine proportion d'oxygène libre, et quand on essayait, en diminuant l'air, de réduire cette quantité à 2 ou 3 pour 100 seulement, on observait un ralentissement dans la marche des fours.

consommation de 360 k. de houille, au plus, pour 1000 de bidons, au lieu de 600 p. 1000, dans les anciens fours; le fer est d'une qualité au moins égale; quant au déchet, il a suivi, dans cette première année de marche, beaucoup plus que la consommation même de combustible, les oscillations de l'allure du générateur; en marche normale, comme elle est assurée par l'alimentation d'un four avec deux générateurs, il est sensiblement moindre que dans les anciens fours; j'estime à 1 1/2 p. 100 l'économie trouvée, convaincu qu'elle sera plus considérable, et qu'elle pourra atteindre 3 p. 100, quand on sera tout à fait maître du procédé.

En résumé, 40 p. 100 d'économie sur le combustible, en poids, sur le prix du combustible employé, environ 7 à 8 p. 100, en substituant aux meilleures houilles de Mons des charbons gras ordinaires du bassin de Charleroy; 1 1/2 p. 100 de déchet de moins au four; et enfin une qualité de fer au moins égale; tel est, au triple point de vue de la consommation de charbon, du déchet et de la qualité, le résultat de la première application du procédé Siemens dans une forge française, résultat fort encourageant, à coup sûr. Avant de passer à l'examen des circonstances qui, dans une certaine mesure, peuvent balancer ces avantages, je signalerai encore, très-secondairement, la plus grande propreté des halles dont tous les fours, convertis en fours à gaz, seraient débarrassés des tas de charbon qui les avoisinent d'ordinaire; la simplification d'une partie du service, en concentrant dans un atelier spécial les fours producteurs de gaz, c'est-à-dire toute la consommation de houille; enfin, une réduction dans les frais d'entretien des fours, qui peuvent travailler deux ou trois mois sans réparations. Ceci s'explique par la propreté de la flamme, le peu de tirage qui ne permet pas l'entraînement de particules métalliques, et enfin l'uniformité de la chaleur dans le four.

Si le four est bien construit, avec un écoulement facile pour les laitiers, de façon surtout à en mettre à l'abri les murs des régénérateurs, dans lesquels ils pourraient s'infiltrer, la durée du four et de ses substructions doit être très-grande. L'édifice de briques des régénérateurs, tout instable qu'il peut sembler, n'est réellement sujet à aucun dérangement; mais c'est à la condition d'employer de bons matériaux aussi réfractaires que possible. Si l'on a moins à redouter en effet la détérioration et la fusion des briques, sous l'influence des oxydes métalliques entraînés et déposés par la flamme, elles ont toujours à résister à une très-forte chaleur constante, accumulée dans un massif de constructions considérable. Il en résulte que si l'on est à l'abri de ces petites réparations, très-fréquentes dans les fours ordinaires, on ne l'est pas de la nécessité de refaire, au bout d'un an, dix-huit mois, etc., certaines parties, les plus exposées au feu, sans parler des autels; ce qui revient à dire que, si les matériaux employés sont mauvais, on aura peut-être à supporter un entretien plus considérable que dans un four ordinaire, et

que s'ils sont, au contraire, suffisamment réfractaires, on trouvera une notable économie.

Quels sont maintenant les inconvénients à mettre en regard de la série d'avantages que j'ai signalés?

En première ligne, une certaine délicatesse dans la pratique du procédé; en présence des applications déjà faites et fonctionnant régulièrement, on ne peut dire qu'il soit précisément dangereux; mais enfin les mises en train entre des mains inexpérimentées amènent quelquefois des explosions; des vices de construction peuvent se traduire par des accidents plus ou moins sérieux; il suffit de la négligence ou de la malveillance d'un ouvrier pour en amener de même sorte; et cette première considération est de nature à faire hésiter quelquefois sur l'adoption du système.

En second lieu, les dépenses d'établissement sont élevées : un four à souder avec ses appareils producteurs de gaz, ses conduites de 30 à 40m, par exemple, et sa cheminée ne peut guère revenir à moins de 8 à 12,000 fr. (suivant le prix des matériaux et de la main-d'œuvre). Avec des conduites communes à plusieurs fours, une cheminée également commune, ce qui serait le plus économique, j'estime que la dépense est à peu près le double de celle d'un four à foyer direct. On arrive ainsi à l'immobilisation d'un capital neuf beaucoup plus considérable, s'il s'agit d'un établissement à créer, et à des dépenses successives assez lourdes, s'il s'agit d'une usine en transformation. L'économie obtenue ne tarde pas pourtant à les couvrir : en supposant le bénéfice journalier à 1400 k. de houille à 20 fr., et 100 kil. de fer à 12 fr., on trouve un total de 40 fr., ou pour 300 jours de 12,000 fr. Une année suffit pour faire rentrer dans les frais de construction, et les années suivantes font ressortir tout le bénéfice; aussi, en présence de la certitude des résultats, ne trouverais-je pas que l'importance des dépenses dût arrêter, s'il n'y avait à tenir compte maintenant, dans le calcul de l'économie, d'un nouvel élément.

Je veux parler des chaudières à vapeur, qui sont presque partout l'annexe de nos fours ordinaires, qui fournissent sans frais toute la vapeur nécessaire au fonctionnement des usines, et qu'il n'est pas possible d'adapter aux fours Siemens. A un certain point de vue, les régénérateurs jouent le rôle des chaudières à flamme perdue, mais plus complétement; et entre le four et les régénérateurs, le mouvement alternatif de la flamme s'oppose absolument à l'interposition de ces appareils. C'est sous une double forme que se présente cette sérieuse objection au système : l'une, qui peut se chiffrer; l'autre, qui est, dans chaque cas, une affaire d'emplacement et de disposition locale.

En effet, il y a d'abord à considérer ce qu'il faudrait dépenser de combustible pour remplacer par des foyers spéciaux le chauffage à flamme perdue; 2° la facilité et la possibilité de le faire. J'estime qu'avec 900 kil. de houille par 24 heures, il serait facile de suppléer à la flamme d'un

four de l'importance de celui qui me sert de point de comparaison; le procédé, en économisant 1400 kil. (d'un prix un peu plus élevé), on n'aurait plus que 500 kil. d'économie réelle par 24 heures, plus 100 kil. de fer (représentant 1 1/2 p. 100 environ), soit en tout 22 kil., ce qui réduit à 6,600 fr. par four le bénéfice annuel. On n'est pas habitué, en industrie, à considérer comme négligeable un résultat semblable; mais, s'il s'agit d'un établissement à transformer, il faudra atténuer ce chiffre de l'amortissement des dépenses de construction des fours, d'installation nouvelle des chaudières, etc.; dans quelques cas, avec des charbons revenant à très-bas prix, l'économie pourrait bien devenir nulle. Si, au contraire, dans la plupart des autres, elle doit subsister, ce que je crois, sera-t-il alors toujours possible de reporter ailleurs les chaudières supprimées? Telle est la question majeure soulevée par le développement du procédé, inapplicable, cela est évident, partout où la disposition des lieux s'oppose au déplacement des chaudières, et à la plus grande place occupée dans les halles par le four Siemens, qui a besoin au-dessus du sol d'assez larges espaces pour les conduits et les valves, et au-dessous d'une grande profondeur à l'abri de l'eau. Je ne parle point, parce qu'en effet ce serait se placer à un point de vue trop restreint, d'une usine qui pourrait, sur quinze ou vingt fours, en monter deux ou trois dans le système nouveau; s'il est avantageux, c'est l'ensemble de son application qu'il faut embrasser.

Or, s'il s'agit d'un établissement à créer ou qui s'agrandisse par parties, nous nous trouvons dans de tout autres conditions. L'écart entre les dépenses de premier établissement pour une application générale du procédé, ou pour la construction de fours ordinaires, n'est plus tel que l'économie à réaliser ne doive le couvrir assez vite; et, dans ce cas, on aperçoit un certain avantage de simplicité et de service à n'avoir absolument dans les halles que les fours eux-mêmes sans charbon, sans chaudières, et à rassembler dans un atelier à part tous les générateurs à gaz, également à part toutes les chaudières dont les conditions d'installation seront certainement meilleures que celles des chaudières subordonnées au travail des fours. Je crois donc qu'on aurait tout lieu de se féliciter de l'adoption d'un plan hardiment conçu en vue de l'application du système Siemens à tous les fours à réchauffer d'une usine neuve ou d'une partie neuve d'usine à créer; l'expérience est faite maintenant.

Encore faut-il que, dans ce cas, une autre série de fours, plus nombreux, représentant une plus forte consommation totale de charbon, les fours à puddler, ne reste pas en dehors de l'application nouvelle, sous peine, en en faisant perdre une partie des bénéfices, celle que je pourrais qualifier d'administrative, d'exclure complétement le système partout où il ne devrait produire qu'une économie directe restreinte.

En Angleterre, on n'était encore arrivé à aucun résultat digne d'attention, ce qui tenait, je crois, surtout, à des défauts de construction, quand

la première application du procédé aux fours à puddler a été faite à Sougland. Je voudrais, à cet égard, pouvoir m'appuyer sur une expérience aussi concluante que pour les fours à souder; mais les conditions dans lesquelles elle s'est faite ont été trop défavorables pour qu'elle puisse servir de base exacte d'appréciation. Nous sommes arrivés à une économie de combustible qui a presque toujours été de 20 à 25 p. 100, marchant avec insuffisance de gaz, insuffisance due surtout à l'exiguïté des conduites faites d'abord pour un seul four à souder, et qui ont dû ensuite alimenter les deux à la fois. De ce manque de gaz est résultée presque toujours une faiblesse de production qui devrait condamner le procédé si elle en était un réeultat normal; tandis qu'au contraire il tend, dans un grand nombre de ses applications, à l'augmenter. Nous n'avons jamais pu dépasser 5 charges 1/2 à 6 charges de 225 kil. en douze heures, en traitant sur des fours à circulation d'eau des fontes avec lesquelles nos fours ordinaires, munis de fours à chauffer les calles, et suivis de chaudières, en faisaient en moyenne 7 à 8. L'absence de fours à chauffer les calles dans les fours Siemens fait, qu'à dimensions égales, on ne doit pas leur demander tout à fait l'égalité de production. Au lieu de quinze à seize en vingt-quatre heures, il faudrait se contenter de quatorze, par exemple[1]; mais si réellement on ne pouvait en obtenir plus de onze à douze de ces fours, l'écart serait trop grand; et quand bien même ils donneraient sur les autres 40 p. 100 d'économie en combustible, je m'arrêterais en présence de ces grands fours à puddler que l'on peut construire à moitié prix, pour en tirer deux ou trois fois plus.

Mais rien ne force à croire qu'il en soit ainsi. En ayant soin, dans la construction du four, de restreindre beaucoup la capacité vide, d'établir des régénérateurs aussi grands et élevés que possible, et surtout de disposer toujours d'une quantité suffisante de gaz, il n'y a aucune raison de douter que le four à puddler à gaz ne puisse aussi bien fonctionner que le four à souder. Étant admise, comme maximum, l'économie de 40 à 50 p. 100 promise par le procédé, on comprend facilement que si l'on se contente d'envoyer à un four le gaz résultant du traitement, aux générateurs, de 800 ou de 1000 kil. de houille, tandis qu'on en brûlait 2,600 avec un foyer ordinaire en vingt-quatre heures, on n'y fera pas 1 kil. *de fer*; si l'on envoie le gaz de 12 ou 1,300 kil., on pourra commencer à travailler; on fera un peu de fer qui coûtera cher de combustible; et il suf-

1. Je me sers de chiffres fournis par le puddlage d'une fonte truitée blanche, bonne qualité, destinée à la fabrication de fer moitié à grain fin, moitié à nerf, pour tôles fines. D'autres qualités de fonte, répondant à un travail plus ou moins rapide, la proportion du four ordinaire au four Siemens ne changerait pas pour cela. Je ne me sers, d'ailleurs, pour le puddlage comme pour le soudage des dimensions des fours exécutés, que comme base de raisonnement, les consommations et produits de fours plus grands ou plus petits variant naturellement avec les dimensions, mais l'économie p. 100 restant sans doute à peu près constante.

fira à cette limite d'élever seulement la consommation journalière de 3 ou 400 kil. pour se trouver de suite en mesure de fabriquer, et sans doute économiquement. Ce sont ces conditions normales qui nous ont trop souvent manqué; mais, en s'y plaçant, pourquoi ne chaufferait-on pas aussi bien et avec autant de rapidité relative dans un four à puddler que dans un four à souder, où la température est plus élevée que celle dont le puddlage a besoin?

Le four que nous avons construit paraissait, du reste, dans d'assez bonnes conditions de travail; la circulation d'air ou d'eau est tout aussi facile à établir que dans un four ordinaire; les autels présentent une forte inclinaison plongeante, afin de mettre l'entrée des conduits des régénérateurs à l'abri du bouillonnement. La sole du four a environ $1^m,45$ sur $1^m,25$; la voûte s'en rapproche de 55 à 60 centimètres; nous avions conservé la cheminée ancienne du four à puddler, de 44 centim. et 14 mètres de hauteur, en la rallongeant de $2^m,50$.

Nos fours ordinaires consommaient en moyenne 900 k. de houille p. 1000 de fer produit, travaillant en fonte et en fer les qualités que j'ai indiquées; c'est en manquant presque constamment de gaz, et par suite dans une marche très-irrégulière, que nous sommes cependant arrivés à abaisser cette consommation p. 1000 au-dessous de 700 kil. Le déchet, plus variable, dépassait quelquefois de beaucoup notre déchet moyen ordinaire, pour lui devenir au contraire, en allure normale, inférieur de 2 à 3 p. 100.

Lorsque le gaz arrivait abondamment au four, j'ai toujours vu les charges se faire dans de très-bonnes conditions; une seule période est toujours un peu longue : la fusion, résultat dû à l'enfournement de fontes froides. Quant aux autres parties de l'opération du puddlage, c'est pour elles qu'apparaît le mieux l'avantage de posséder une flamme tantôt oxydante et tantôt réductrice. Nous réglions les proportions, pour la période de chauffage et de fusion de la fonte, de façon à obtenir le maximum de chaleur sans nous préoccuper de la nature de la flamme. A peine la fonte fondue, ce qui, je le répète, en enfournant à froid des fontes assez fortes, nous demandait rarement moins d'une heure, nous augmentions la quantité d'air et la levée du registre de la cheminée, afin de favoriser la décarburation par une forte introduction d'oxygène libre, débouchant à la surface de la fonte, à 800° ou 1000°. Nous avions un rapide et excellent bouillonnement, et un brassage facile, les scories s'écoulant par la petite ouverture de la porte; puis à mesure que le bain s'affaissait, que le fer prenait nature, nous réduisions l'entrée d'air et le tirage, de façon à rendre la flamme de moins en moins oxydante, et, si possible, réductrice, pendant la dernière partie du travail, où les puddleurs rassemblent le fer formé et forment les loupes. En réglant ainsi les changements de proportions à trois par fournée : fusion, affinage, soudage, soins dont le maître puddleur s'acquitte sans difficulté, on arrive à une méthode vraiment scientifique, et, ce qui est l'essentiel, très-

pratique en même temps. La première inversion de valves se fait une demi-heure à trois quarts d'heure après l'enfournement, pour déterminer la fusion; quant à la seconde, elle a lieu avant la confection des boules; et, de cette façon, non-seulement on arrive à espacer assez régulièrement les inversions (deux par charge); mais encore on compense par cette deuxième, ainsi placée, la difficulté d'obtenir, à la fin, tout en réduisant l'air, le maximum de température qui est nécessaire; et, sous l'influence du courant nouveau, fortement chauffé, la fin de l'opération est aussi rapide, quand le gaz est abondant, qu'elle laisse évidemment à désirer quand il y a insuffisance et qu'il faut tourner et retourner les boules sans arriver encore à les avoir bien chaudes.

Nous avons obtenu, avec un déchet d'environ deux p. 100 moindre, en marche régulière que dans nos fours ordinaires, du fer excellent. Nous avons aussi travaillé, à titre d'essai, au gaz, des fontes de Suède et sommes arrivés à une qualité tout à fait exceptionnelle, favorisés par la pureté de la flamme dont l'importance est très-grande au puddlage. Sans doute avec des fontes inférieures ou très-ordinaires, on ne peut espérer que la pureté de la flamme suppléera à la pureté de la fonte et permettra d'en tirer du fer de première qualité; mais avec des fontes un peu supérieures, le résultat ne peut que l'emporter sur celui que donnent les mêmes fontes dans un four à la houille ordinaire.

Tout en regrettant d'avoir toujours à consigner l'insuffisance de gaz qui n'a pas permis à une expérience de plusieurs mois d'être autre chose qu'un demi-succès, il est trop évident que, sans cette circonstance, les résultats eussent été beaucoup plus satisfaisants encore, pour que l'on puisse prendre comme base d'appréciation la simple moyenne de nos chiffres très-discordants. C'est en laissant de côté quelques-uns de nos accidents, et appliquant une moyenne qui sera par conséquent un peu au-dessus de la moyenne générale, mais au-dessous cependant de ce que nous appelions l'allure normale que je résumerai les résultats obtenus par ce procédé de puddlage au gaz : 1° une qualité de fer égale ou supérieure, à qualité de fonte égale; 2° un déchet moindre au four, d'environ deux p. 100; 3° une économie de combustible de 30 p. 100.

Il ne serait peut-être pas impossible d'installer d'une manière particulière sur ces fours une disposition permettant de chauffer les calles au rouge cerise pendant qu'on finirait la charge précédente, au moyen, par exemple, de petites chambres placées au delà de la chambre de mélange, et chauffant par rayonnement. Mais jusqu'à ce que l'on soit maître d'une disposition sûre et commode, c'est à 30 p. 100 seulement que je crois devoir estimer l'économie à attendre sur le puddlage, au lieu de 40 p. 100 que donnent les fours à souder[1].

1. Un brevet a été pris par l'établissement de Sougland pour un système de four à puddler Siemens double, four à 2 soles successives et séparées, sur l'une desquelles on travaillera

Si nous examinons les conditions d'établissement des fours à puddler Siemens, nous trouvons donc en leur faveur à peu près les mêmes avantages que pour les fours à souder, quant à la qualité, au déchet et à l'économie de combustible, ramenée seulement de 40 à 30 p. 100, avantages auxquels nous opposerons d'abord une diminution de production qui doit être vraisemblablement de 10 à 12 p. 100 sur un four de dimensions données, puis les inconvénients déjà signalés : délicatesse du procédé, dépenses considérables d'installation, impossibilité d'y adapter des chaudières.

Je répéterai comme tout à l'heure que, dans une usine ancienne, la substitution de deux ou trois fours Siemens sera facile, mais sans intérêt, et d'un plus grand nombre, presque toujours difficile, sinon impraticable; que d'ailleurs il y aura ici à mettre en regard de fortes dépenses, un chiffre moindre d'économie, qui en tenant compte du chauffage des chaudières et de la moindre production, et supposant comme tout à l'heure le prix du charbon à 20 fr. la tonne, ne dépasserait pas 8 à 9 fr. par vingt-quatre heures, soit 2500 fr. par an, et serait encore moindre évidemment dans tous les établissements où la proximité des houillères abaisse le prix du charbon à 10 ou 15 fr. Il y aura donc, dans une usine existante, moins de raisons encore de transformer les fours ordinaires en fours Siemens, tandis que le cas d'une usine à faire ou à développer restera toujours plus favorable au procédé, la simplification et la meilleure organisation des services ne devant pas être négligées.

On comprend, d'ailleurs, que si l'on a dans une usine, dix fours à gaz par exemple, alimentés par un même ensemble de générateurs, ils se trouveront dans des conditions que je n'ai pas envisagées et beaucoup meilleures qu'un ou deux fours seulement. Les générateurs à gaz Siemens ont l'avantage de pouvoir, pleins de charbon jusqu'en haut, rester arrêtés presque sans dépense, huit, dix et même quinze jours. On bouche hermétiquement les grilles, on ferme le registre dont est munie la prise de gaz; on recharge tous les jours dans les appareils quelques pelles de charbon; et lorsqu'il s'agit de les remettre en train, les grilles débouchées et un tirage direct déterminé par le haut de la colonne, le générateur se rallume seul, et peu d'heures suffisent pour le remettre en pleine activité. Mais si ces générateurs sont vite et économiquement rallumés, les fours refroidis demandent en revanche toujours au moins quarante-huit ou soixante heures avant d'atteindre la température de tra-

la fonte et le fer, avec le courant gazeux arrivant de ce côté, pendant que la fonte fondra dans l'autre; l'opération se faisant à l'inversion suivante sur cette deuxième sole et ainsi de suite. Je crois qu'il y a là une heureuse combinaison du mouvement alternatif de la flamme dû au procédé, avec les exigences d'un four qui devrait ainsi voir sa production presque doublée, et l'économie notablement augmentée. J'espère qu'il sera donné suite à cette idée qui me paraît de nature, par son double avantage, à augmenter beaucoup les chances d'application du procédé Siemens au puddlage.

vail; il y a de grandes masses à échauffer; et il n'y aurait pas d'intérêt à vouloir travailler, le four même étant chaud, avant que les générateurs ne fussent, eux aussi, portés à la haute température à laquelle leur fonctionnement est complet. Cela montre l'avantage, au puddlage et au soudage, des longs trains, possibles, du reste, avec des fours qui ne sont plus exposés à la nécessité d'aussi fréquentes réparations que les fours ordinaires, et que d'ailleurs, un jour de chômage ou d'arrêt forcé, on peut avec une très-faible consommation de gaz, et peu de frais, maintenir, arrêtés, à une température voisine de celle de travail.

S'agit-il d'une mise en train après un arrêt complet du four, on est alors forcé de subir une dépense notable de rallumage et de réchauffage, si le four est unique; tandis qu'elle est presque insensible quand on a plusieurs fours réunis, et qu'on en peut chauffer un graduellement, aux dépens des autres, pour ainsi dire, et sans consommation supplémentaire. Dans ce cas, les appareils sont constamment en marche; et en supposant que sur dix fours il y en ait toujours un ou deux en réparation, le chômage de l'un succédera au chômage de l'autre, sans que l'on ait rien à changer à la marche des générateurs eux-mêmes.

Une usine, organisée entièrement d'après ces idées, trouverait dans la pratique des simplifications qui ne seraient pas sans importance; conjointement à un système de chauffage des chaudières mieux entendu, certaines dépenses de main-d'œuvre, s'appliquant aux chaudières, aux fours à souder, au travail du puddlage, etc., seraient abaissées par une autre réglementation et par des réductions de personnel.

Tout à fait concluante pour les fours à souder le fer, encourageante pour les premiers essais de puddlage, l'expérience a été plus favorable encore sur un four à souder l'acier à Sireuil, où l'on en construit aujourd'hui un autre destiné à la fabrication de l'acier puddlé.

Il semble donc qu'on puisse, au point de vue technique, présager le succès de l'application du procédé aux fours métallurgiques en général, quelles qu'en soient les dimensions et les conditions de travail, conditions qui devront toujours tendre, je crois, à la rapidité de chauffage afin de tirer un profit réel de la réglementation chimique de la flamme. C'est ensuite au point de vue administratif, pour ainsi dire, que dans chaque cas il faudra se placer, pour tirer des avantages et des inconvénients comparés du système, les raisons de l'adopter ou de le repousser.

III

Quelques lignes me suffiront maintenant pour résumer les conditions qui me paraissent être faites au procédé Siemens par la métallurgie : s'il s'agit d'un grand établissement marchant entièrement à la vapeur,

dont tous les fours sont munis de chaudières, qui se procure une houille de bonne ou de moyenne qualité à un prix relativement bas, je ne crois pas à l'intérêt de la transformation quand même elle y serait possible. — Si l'on suppose une usine employant en partie au moins l'eau comme force motrice, et ayant un certain nombre de fours sans chaudières, elle devra trouver souvent avantage à les convertir en fours à gaz. — Il en sera de même encore des forges qui n'ont à consommer que des charbons inférieurs très-sales, très-impurs, dont les foyers ordinaires absorbent une très-grande quantité, et dont l'emploi est relativement très-avantageux dans le système nouveau. — Mais je ne puis trouver la véritable application en grand du procédé, que dans le cas d'une usine à créer ou le plus souvent d'une usine à agrandir, qui ne reculerait pas devant une mise de fonds considérable pour se placer dans des conditions de travail réellement économiques et exceptionnelles, par un emploi général et conçu d'ensemble du procédé.

Quant à ses autres applications dans l'industrie, qu'elles aient été déjà ou non consacrées par la pratique, elles seront généralement limitées de deux côtés : pour les travaux qui n'exigent pas une très-haute température, au-dessous de 700° à 800° par exemple, à plus forte raison pour les chauffages analogues à celui des chaudières, il n'en doit pas être question; il pourra dans quelques-uns de ces cas, paraître avantageux d'employer tel ou tel système de chauffage par le gaz; mais, dans celui de M. Siemens, le gaz ne constitue qu'une portion et non la principale du procédé. On ne saurait guère l'adopter non plus pour des fours dans le prix de construction desquels la part afférente au procédé serait de beaucoup la plus forte. Dans de grandes constructions, comme celles des fours de verrerie, la proportion supplémentaire des frais d'établissement, pour la mise en pratique du procédé n'est pas énorme comme s'il s'agissait de l'adapter à un four dont la valeur totale serait à peine de quelques milliers de francs, et la consommation absolue en houille assez faible, à moins qu'ayant à installer plusieurs de ces appareils, il ne résulte de leur nombre, pour la part de chacun, une certaine atténuation des frais de conduites, de générateurs, etc. Je citerai notamment, dans ce cas, des applications très-heureuses et très-économiques à des fours à moufles pour l'émaillage des métaux.

Je n'ai pas qualité pour me prononcer sur l'avenir possible de développement du procédé dans les fabriques de gaz d'éclairage. Je crois cependant que la pratique finira par en tirer une économie notablement supérieure à celle qu'elle y trouve aujourd'hui. Il y a dans l'application à cette industrie, en particulier, une cause spéciale de gêne, en ce que l'on ne peut toujours bénéficier du procédé, autant qu'il le permettrait, en lui demandant, par exemple, une production plus forte; une augmentation de production, pour ne citer qu'un inconvénient, faisant passer, dans un temps donné à travers les tuyaux refroidis, plus de gaz d'éclai-

rage que la quantité pour laquelle le refroidissement est calculé, entraîne l'échauffement de ces tuyaux, amène des obstructions et devient une source constante d'embarras. Il n'en serait évidemment pas ainsi dans une usine neuve, si l'ensemble des appareils était établi en vue de cet excès de production; et c'est évidemment dans un certain rapport entre le nombre de générateurs, leur meilleure allure, le nombre de cornues chauffées et le nombre de fournées par jour que doit se trouver le maximum d'économie réalisable.

En ce qui concerne l'industrie du verre, le développement journalier du chauffage au gaz prouve que le procédé y a trouvé sa plus sûre application; de ce côté, l'étude spéciale est maintenant complète; elle a donné des règles particulières à suivre dans la construction des fours de verrerie Siemens, quant à la forme, aux dimensions des fours, au nombre des pots, au travail lui-même, etc, — la pratique en est devenue courante.

Chaque application faite ou à faire du procédé, fours à zinc, à cuivre, fours à cuire les poteries, etc., est de même arrivée ou arrivera par une étude particulière et un certain apprentissage à trouver quelques règles spéciales dont la connaissance, guidant les travaux postérieurs, en améliorera plus sûrement les résultats. Entrer dans les détails à cet égard serait sortir de ma compétence.

Je m'arrête, heureux si j'ai suffisamment montré la haute valeur pratique d'un procédé dont la conception est en même temps si ingénieuse. Les principes qui ont guidé le savant ingénieur anglais, objet des études complètes d'Ebelmen, après avoir donné naissance à différents systèmes plus ou moins estimés, ont enfin reçu une application vraiment remarquable que de nombreuses et importantes industries peuvent mettre à profit, et sur laquelle j'ai cru qu'il n'était pas sans intérêt d'appeler l'attention.

MÉMOIRE

SUR LES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

DU ROYAUME DE BELGIQUE,

LEUR MATÉRIEL ET LEURS RAPPORTS

avec l'exploitation des chemins de fer,

PAR M. VINCHENT.

Le service des télégraphes belges forme, avec les postes et l'exploitation des chemins de fer de l'État, une seule administration, ressortissant au département des travaux publics. Cette fusion des trois branches de service, en favorisant le concours que chacune d'elles trouve dans les deux autres, a multiplié les rapports qui existent partout, dans une mesure plus ou moins grande, entre le télégraphe et l'exploitation des chemins de fer, rapports qui comprennent non-seulement le libre échange de nombreuses correspondances télégraphiques, dans l'intérêt du trafic et de la circulation sur les voies ferrées, mais aussi l'admission des correspondances du public aux appareils télégraphiques des stations, en utilisant le personnel des chemins de fer.

Les facilités et les économies qui résultent de cet échange de services se traduisent en avantages directs ou indirects pour le public. A ce titre, un exposé succinct des moyens adoptés en Belgique ne sera peut-être pas sans intérêt pour les ingénieurs qui s'occupent de l'un ou l'autre genre d'exploitation.

I

SITUATION DU RÉSEAU. — FRAIS D'ÉTABLISSEMENT.

Au 1er janvier 1864, la longueur totale des lignes télégraphiques du gouvernement belge est de 2,647 kilomètres. Le nombre de fils conducteurs fonctionnant sur chaque ligne varie de 1 à 15. Le développement total des fils s'élève à 6,238 kilomètres.

Ces lignes sont réparties conformément au relevé ci-après :

	Lignes. kilomètres.	Fils conducteurs. kilomètres.
Fils sur poteaux établis, savoir :		
Sur les chemins de fer de l'État..	733	3,797
Sur les chemins de fer concédés.	1,039	1,413
Sur les routes ordinaires.	868	982
Fils souterrains dans les villes.	7	46
Totaux.	2,647	6,238

Les lignes télégraphiques établies le long des chemins de fer de l'État sont les plus importantes; elles comprennent à elles seules plus de la moitié des fils conducteurs, sur une longueur qui ne dépasse pas de beaucoup le quart du réseau total.

Les Compagnies concessionnaires, qui exploitent les chemins de fer autres que ceux de l'État, ont établi, à leurs frais, 1,189 kilomètres de fils télégraphiques, soit sur les poteaux de l'État, soit en établissant des lignes spéciales. Ces dernières ont une longueur de 185 kilomètres.

Généralement, les lignes et les appareils télégraphiques des chemins de fer concédés sont utilisés au service des correspondances privées, sous la surveillance et pour le compte du gouvernement.

L'ensemble des lignes télégraphiques du pays comporte donc 7,427 kilomètres de fils conducteurs répartis sur un trajet total de 2,832 kilomètres de routes et de chemins de fer.

Il y a également, au 1er janvier 1864, 252 bureaux télégraphiques belges ouverts aux correspondances privées. Il n'y a que cinq États européens qui en possèdent un plus grand nombre : l'Angleterre, avec l'Écosse et l'Irlande, la France, la Prusse, l'Italie et l'Autriche.

Ces 252 bureaux sont répartis comme suit :

Bureaux de l'État installés :	
Dans les stations des chemins de fer de l'État.	84
— — concédés..	36
Dans les villes ou communes..	52
Nombre total des bureaux de l'État..	172
Bureaux télégraphiques établis par les Compagnies concessionnaires de chemins de fer et utilisés aux correspondances privées.	80
Total général. . . .	252

L'appareil télégraphique du système Morse fonctionne dans 97 bureaux de l'État, parmi lesquels 52 bureaux n'emploient que ce système, les 45 autres employant en outre des appareils à cadran et à lettres.

155 stations des chemins de fer de l'État et des chemins de fer concédés n'ont que des appareils à lettres qui sont, en presque totalité, du système de M. Lippens, constructeur à Bruxelles.

Je citerai en outre :

1° L'appareil à lettres du système Siemens avec pile, employé sur les lignes de Verviers à la frontière prussienne et de Landen à Maestricht;

2° L'appareil Siemens fonctionnant au moyen des aimants, sur la ligne des Ecaussines à Erquelinnes;

3° L'appareil à lettres du système Breguet, adopté par la plupart des chemins de fer français et par la Compagnie du Nord dans les stations principales des lignes qu'elle exploite sur le territoire belge. Il fonctionne dans cinq stations de l'État en relations avec ce chemin de fer.

En ne tenant compte que du matériel appartenant à l'État, la situation des appareils télégraphiques, au 1er janvier 1864, peut être détaillée comme suit :

	En service.	En réserve.	Totaux.
Appareils Morse. . .	198	31	229
— Lippens. .	155	21	176
— Breguet. .	9	7	16
— Siemens. .	3	»	»
Ensemble. .	365	59	424

La première ligne télégraphique établie en Belgique date de 1845. Elle était concédée à une Compagnie anglaise. La ligne et la concession ont été rachetées en 1850 par le gouvernement, qui a commencé dès cette époque l'établissement de son réseau. Les frais d'acquisition et d'installation sont, jusqu'au 1er janvier 1864 :

Pour les lignes télégraphiques (poteaux, fils, etc). .	857,046f
Pour les appareils, accessoires, locaux, mobilier. .	394,372
Total.	1,251,418

Si l'on retranche de la longueur des lignes et des fils conducteurs formant le réseau de l'État, les lignes rachetées, ainsi que les fils souterrains, les raccordements dans les tunnels, les cours d'eau, etc., et si l'on déduit, d'autre part, de la somme de 857,046 fr. les dépenses afférentes à ces rachats et à ces installations exceptionnelles, il reste pour l'ensemble des lignes sur poteaux construites par les agents du gouvernement :

Longueur des lignes.	2,575 kilom.
Développement des fils	5,964 —
Dépense correspondante.	776,788 fr.

La dépense moyenne, *poteaux compris*, est donc de 302 fr. par kilom. de ligne, et 130 fr. par kilomètre de fil.

En supposant que, sur chaque ligne, un kilomètre de poteaux transportés à pied-d'œuvre et plantés soit, en dépense, l'équivalent d'un fil placé avec ses supports et accessoires, il y aura, dans l'ensemble que nous venons de considérer, 8,539 unités kilométriques ayant coûté, en moyenne, 91 fr.

D'après ce mode de calcul, une ligne à un fil aurait coûté 182 fr.; une ligne à deux fils 273 fr., et ainsi de suite.

La somme de 394,372 fr. a servi à établir 172 bureaux télégraphiques fonctionnant avec le matériel de l'État, matériel qui comprend, en totalité, 424 appareils. Les dépenses moyennes sont 2,292 fr. par bureau, ou 930 fr. par appareil.

Ces moyennes n'ont d'autre portée que d'établir le rapport entre les dépenses effectuées et le résultat obtenu. Elles s'appliquent à des appareils de système très-différents, à des bureaux dont l'importance varie de un à quarante appareils, à des lignes installées dans des conditions diverses. S'il s'agissait d'estimer les frais d'installation de lignes ou d'appareils nouveaux, il faudrait tenir compte des circonstances particulières. C'est ce qui sera obtenu d'une manière plus complète après examen des divers objets de matériel employés par notre exploitation.

II

FILS CONDUCTEURS.

Les fils suspendus sur poteaux qui constituent la presque totalité du réseau télégraphique belge sont exclusivement en fer galvanisé au zinc; le diamètre de 3 millimètres (n° 11, jauge anglaise), est généralement adopté. Les fils de 4 millimètres (n° 8) sont réservés aux lignes qui franchissent les frontières, pour fonctionner à longue distance et aux parties voisines de certaines usines dont les émanations exercent une influence destructive sur la couche de zinc et sur le fer lui-même.

Les fournitures de fils de fer sont mises en adjudication publique. L'annexe n° 1 reproduit les conditions de fourniture d'après les derniers cahiers des charges de l'administration. Ces conditions ont été rapprochées autant que possible de celles de l'administration des lignes télégraphiques de France, afin que la comparaison du prix, qui est généralement à l'avantage de l'industrie belge, s'applique à des objets de même valeur pratique. L'application du procédé du docteur Pettenkofer de Munich, pour vérifier la solidité de la galvanisation, a lieu de la même manière dans les deux pays.

Les deux dernières fournitures provenant, comme les précédentes, d'usines belges, ont été adjugées aux prix suivants :

			Fil 4 mill.	Fil 3 mill.
1862.	—	50,000 kilogrammes.	48 fr.	52 fr.
1863.	—	6,0000 —	45 »	50 »

Ces prix s'appliquent aux cent kilogrammes, galvanisation comprise.

Tout en tenant compte du rabais exceptionnel résultant peut-être de la concurrence et du désir qu'ont certains fabricants d'être déclarés adjudicataires des fournitures du gouvernement, dans l'intérêt de leurs relations avec l'étranger, on peut considérer comme très-remarquable que les conditions exigées par l'administration puissent être remplies à des prix aussi modérés.

Les cahiers des charges admettent des fils fabriqués à l'étranger. L'industrie belge n'a d'autre avantage que l'économie des frais de transport et d'un droit d'entrée de 4 fr. par cent kilogrammes. J'ai lieu de croire que les fils qui seraient fabriqués à l'étranger, dans les limites des prix ci-dessus, ne rempliraient pas les conditions de notre cahier des charges.

Les procédés à suivre pour réunir les fils bout à bout, lorsqu'on les pose sur la ligne, ont fait l'objet de nombreux essais dans tous les pays. On semble généralement reconnaître, depuis quelques années, l'utilité d'une bonne soudure à l'étain, afin d'assurer la bonne conductibilité de chaque joint. Cette pratique est suivie en Belgique depuis plus de douze ans. J'en ai rendu compte dans un premier travail sur l'établissement de nos lignes télégraphiques (*Annales des Travaux publics*, tome XIII; Bruxelles, 1854). A cette époque, nos fils étaient réunis en torsades, à l'instar de la pratique suivie en France. Nous n'avons pas tardé à reconnaître les inconvénients de ce procédé : il exige un degré de recuit qui diminue la résistance du fil à la traction; de plus, il en altère la solidité à droite et à gauche de la torsade. Notre procédé actuel, qui date de six ou sept ans, n'exige qu'un seul étau réunissant les deux extrémités à joindre, juxtaposées de manière à laisser de chaque côté un bout de 15 à 20 centimètres, qui est enroulé à la main autour du corps de l'autre fil. On serre au moyen d'une forte pince et l'on soude à l'étain, *au milieu du joint, entre les deux rouleaux*. De cette manière, le corps de chaque fil, partant du joint, ne subit ni effort, ni torsion, ni oxydation, car il n'a aucun contact avec l'acide chlorhydrique employé à préparer la soudure.

Les *Annales télégraphiques de France* (livraison de mai-juin 1863) fournissent sur le même sujet des renseignements intéressants dus à M. l'inspecteur Le Moyne. L'ancien joint en torsade est encore employé en France, mais seulement pour le fil recuit. Il a été reconnu que la torsade n'assure pas suffisamment la conductibilité, que la soudure à l'étain opérée en plongeant la torsade entière dans l'acide et ensuite dans le bain métallique altère la solidité du fil, et qu'il vaut mieux ne souder

que le milieu. Il semblerait que le joint à deux rouleaux, actuellement adopté sur les lignes belges, n'a point réussi en France : sous de fortes tensions, le fil se serait redressé et les bouts se seraient séparés; dans d'autres circonstances, l'oxydation des surfaces en contact aurait donné lieu à des résistances au courant. C'est que probablement la soudure à l'étain aura été omise ou imparfaitement exécutée, ces inconvénients ne s'étant pas produits en Belgique.

M. Le Moyne rend compte d'autres essais : la juxtaposition des deux bouts maintenus, soit par un manchon métallique, soit par une ligature de fil mince, procédés présentés avec raison comme peu commodes et réclamant des accessoires; les petits boulons à écrous proposés en 1861 par M. Carpentier de Paris, et que l'administration française a refusé d'adopter, avec raison, à mon avis, car ils ont été employés en Angleterre dès les premières lignes établies, et en Belgique de 1845 à 1850, le service de l'État les ayant abandonnés dès 1851 comme donnant lieu à des contacts imparfaits. M. Le Moyne, considérant tous les procédés de raccordement comme plus ou moins défectueux, recommande d'employer des pièces aussi longues que possible, même jusqu'à 2,000 mètres, ce qui implique des soudures à chaud faites à l'usine. A mon avis, ce procédé offrirait les inconvénients suivants : bottes de 200 kilogrammes à manœuvrer lors de la pose; solidité du fil altérée à côté des soudures; galvanisation au même endroit, faite après coup et probablement imparfaite.

Je persiste à croire qu'il vaut mieux n'employer que des longueurs qui puissent être étirées d'une seule pièce, et que les raccordements, tels qu'ils sont pratiqués en Belgique, avec soudures, ne donnent lieu à aucun inconvénient. J'insiste sur ce détail à cause de son importance pratique : les ruptures de fils télégraphiques causent de grandes entraves dans le service, et les contacts imparfaits sont encore plus difficiles à découvrir et à réparer.

Les lignes souterraines établies à Bruxelles et à Anvers, pour raccorder entre eux les divers bureaux télégraphiques de ces deux villes, ont près de dix années d'existence et pas un fil hors de service. Depuis leur première installation, les fils ont été mis à découvert une fois pour être goudronnés. Mais il est probable que si cette opération avait été faite dans le principe; il eût été inutile de la renouveler. Les fils seraient même en meilleur état.

D'après ce résultat, on peut recommander les dispositions suivantes, non comme les plus parfaites, mais comme pouvant donner une sécurité complète : fils de cuivre de 1 1/2 à 2 millim., recouverts d'une double couche de gutta-percha aussi pure que possible; bandelettes d'étoffe de coton bien enduites de goudron végétal, pour conserver à la gutta-percha sa souplesse première, éviter les fissures et l'altération de la matière; tuyaux en fonte pour protéger les fils contre l'atteinte des outils,

en cas de tranchées nouvelles, travaux du gaz, des égouts, etc. Il est utile que ces tuyaux puissent s'ouvrir à tout endroit de la ligne souterraine, pour qu'on puisse visiter les fils. Il n'est pas nécessaire qu'ils soient imperméables à l'eau. On peut donc employer des pièces d'un mètre de longueur coulées sous forme d'auge et recouvertes de plaques de 4 à 5 millim. d'épaisseur, comme les tuyaux. Les assemblages à collier ont un certain jeu qui permet d'établir une courbe au besoin. On dispose en outre des tuyaux coudés pour les angles de 90° ou à peu près. Des tuyaux offrant ces dispositions avec 5 centimètres de diamètre intérieur et pouvant contenir 20 fils, peuvent être fournis à 2 fr. 50 c. par assortiment complet d'un mètre. Il faut 20 centimes de plus pour les enduire d'un vernis noir à base de goudron de gaz, qui les préserve de l'oxydation.

Les fils isolés par la gutta-percha nous viennent d'Angleterre. Le prix en est augmenté depuis quelques années dans une assez forte proportion. Le fil de cuivre n° 16 (1^{mm},7 de diamètre), recouvert de deux couches de gutta-percha, ayant ensemble 2 millim. d'épaisseur, coûte à Londres 385 fr. les 1,000 mètres courants. Les droits d'entrée étant de 7 fr. environ pour la même longueur, et les frais de transport, d'emballage, etc., de 6 fr. 50 c., le prix de revient total est de 398 fr. 50 c., c'est-à-dire de 40 centimes à peu près par mètre courant. Les bandelettes et le goudronnage portent ce prix à 52 centimes.

Si l'on voulait calculer, par exemple, les frais d'installation d'une ligne souterraine de 1,000 mètres de longueur, comprenant dix fils, dans les conditions qui viennent d'être exposées, on les établirait comme suit :

40,000 mètres courants de fil isolé et garni à 0^{f},52.	20,800 fr.
Tuyaux en fonte, pesant 10 kilog., et coûtant 2 fr. 70 c. par mètre courant.	10,800
Ouverture et fermeture d'une tranchée de 0^{m},75 de profondeur, pose des fils et des tuyaux, frais variables d'après les lieux, de 0^{f},30 à 1 fr. par mètre courant, soit 0^{f},70.	2,800
Frais, accessoires imprévus.	1,600
Total.	36,000 fr.

C'est-à-dire 8 fois autant qu'une ligne sur poteaux ayant le même nombre de fils.

Les lignes souterraines pouvant être installées et entretenues dans de bonnes conditions de service, c'est la question de dépense seule qui empêche d'en étendre l'usage à des lignes d'une certaine importance. Mais elles sont déjà très-utiles pour certains parcours, dans les villes, par exemple. L'emploi des fils isolés est également très-utile, sinon indispensable, pour franchir les tunnels, les cours d'eau navigables, pour

pénétrer dans certains bâtiments, etc. Dans les cours d'eau, il est préférable d'employer des câbles armés de fils de fer, comme pour les lignes sous-marines. Nous avons fait venir d'Angleterre de ces câbles tout préparés au prix de 2 fr. 50 c. par mètre pour trois fils conducteurs, de 5 fr. 50 c. pour six fils. Dans les tunnels, l'armature de fils de fer est inutile, mais on peut utiliser les mêmes câbles avec leur simple garniture de chanvre goudronné. Les câbles à quatre fils ainsi préparés coûtaient 1 fr. 80 c. par mètre courant, il y a quelques années.

La substitution du caoutchouc à la gutta-percha, pour isoler des fils télégraphiques, a fait l'objet d'études nombreuses, au sujet desquelles on peut consulter utilement le rapport de la commission d'enquête instituée en Angleterre, pour s'occuper de toutes les questions qui se rattachent aux lignes sous-marines. Ce rapport, formant un *blue-book* de 600 pages, a été communiqué en avril 1861 aux deux Chambres du Parlement. Je citerai, comme proposition plus récente, celle de MM. Claes, Vandennest et C^ie^, qui ont une usine à Menin (Belgique) et une à Saint-Denis, près de Paris, pour la préparation du caoutchouc durci par le soufre. Cette matière étant beaucoup moins altérable que le caoutchouc pur ou la gutta-percha, ils cherchent à la substituer à cette dernière pour isoler des fils télégraphiques souterrains ou sous-marins. Quelle que soit la disposition adoptée, il importe avant tout de préserver le cuivre de tout contact immédiat avec la matière soufrée. C'est l'altération du cuivre par le soufre qui a été la cause principale de la non-réussite des lignes souterraines établies en 1850 par le gouvernement prussien. Peut-être suffirait-il de recouvrir le cuivre d'une couche de zinc pour empêcher cette altération? C'est une expérience à tenter.

III

POTEAUX.

Il est reconnu depuis longtemps que les poteaux en bois des lignes télégraphiques doivent être imprégnés d'une substance conservatrice. Les brins de sapin, auxquels on donne la préférence presque partout, ne peuvent, sans préparation, être conservés au delà de cinq ans, quelque précaution qu'on prenne. On peut estimer à quinze années au moins la durée des poteaux en sapin injectés de sulfate de cuivre, d'après le procédé Boucherie. La préparation par les huiles créosotées, en vase clos, d'après le procédé Bethell, aura probablement le même résultat, si l'on en juge par les expériences faites en Angleterre et en Belgique, principalement sur des traverses de chemins de fer. Ce dernier procédé est un peu moins coûteux que le précédent. Il a l'inconvénient de fournir des

poteaux noirs dont l'aspect, l'odeur et surtout le contact sont peu agréables. Lorsqu'on n'a point la précaution de les laisser sécher pendant quelques semaines, ces poteaux attaquent les vêtements et la peau des ouvriers chargés de les manier et de les planter. Ils ne peuvent donc être mis en œuvre aussitôt après la préparation.

L'annexe n° 2 contient les conditions de fournitures des poteaux mis en adjudication publique pour les lignes télégraphiques du gouvernement belge. Certaines conditions diffèrent selon le genre de préparation. Les poteaux destinés à être créosotés sont coupés pendant l'arrêt de la sève et livrés sans écorce; les poteaux à injecter de sulfate de cuivre sont livrés avec l'écorce et fraîchement coupés; cette dernière condition en fait généralement augmenter le prix, l'entrepreneur devant suivre, dans l'abatage et le transport, les besoins journaliers du chantier de préparation.

Les annexes n° 3 et 4 indiquent les conditions des contrats pour la préparation, à l'entreprise, par la créosote et par le sulfate de cuivre. Cette dernière opération est faite en régie par les agents de l'administration, depuis qu'elle ne fait plus l'objet d'un brevet d'importation.

En rapportant à un mètre cube, en moyenne, les résultats des dernières opérations (1862 et 1863), nous obtenons les prix suivants :

Préparation au sulfate de cuivre.

Un mètre cube de sapin, d'après le prix des poteaux non écorcés livrés par adjudication publique	44 fr. »
13 kilog. de sulfate de cuivre à 82 fr. 50 c. les 100 kilog.	10 » 72 c.
Main-d'œuvre	7 » 58
Frais généraux	1 » 70
Prix de revient total, par mètre cube	64 fr. 00 c.

Préparation aux huiles créosotées.

Un mètre cube de sapin, d'après le prix des poteaux écorcés livrés par adjudication publique	41 fr. 50 c.
Frais de préparation, à l'entreprise	17 » 50
Prix de revient total, par mètre cube	58 fr. 50 c.

Pour comparer, au point de vue de la dépense, des matériaux de durée inégale et de prix différents, il convient de calculer, sous forme d'annuité, la somme des frais d'acquisition de mise en œuvre et de remplacement à l'expiration de la durée probable ou connue.

Ainsi une pièce de bois, poteau ou traverse, mise en œuvre le 1er juillet 1850 et devant durer quinze ans, coûte, à la fin de chaque année,

l'intérêt du capital dépensé en 1850, plus une annuité suffisante pour constituer, au moyen de quinze versements égaux et successifs, un second capital égal, au moyen duquel la pièce de rechange sera achetée et placée le 1er juillet 1865.

Appelons p le total des frais d'installation qui sont aussi, par hypothèse, ceux du renouvellement, a l'annuité à calculer, les intérêts étant de 5 pour 100. Le capital p sera reconstitué par la somme de 15 éléments, savoir : le dernier versement a opéré le 1er juillet; l'avant-dernier, opéré en 1864, augmenté de 5 pour 100 ou multiplié par 1,05; le précédent, opéré en 1863, augmenté des intérêts composés, ou multiplié par $(1,05)^2$; et ainsi de suite. D'après cela, p serait égal à a multiplié par $\frac{(1,05)^{15}-1}{1,05-1}$, ou, pour un nombre d'années n :

$$p = a\,\frac{(1,05)^n - 1}{0,05}, \qquad a = \frac{0,05\,p}{(1,05)^n - 1}.$$

En tenant compte des dimensions diverses des potcaux employés sur les lignes télégraphiques belges, on trouve, en moyenne, autant de mètres cubes de bois qu'il y a de fois 8 poteaux. Les frais de transport jusqu'à pied-d'œuvre, de plantation, de fixation des supports isolants, etc., peuvent être estimés, toujours en moyenne approximative, à 2 fr. par poteau, c'est-à-dire à 16 fr. par mètre cube. D'après les renseignements qui précèdent, nous avons à comparer trois espèces de matériaux, savoir :

Le bois non préparé, durant cinq ans, coûtant 41 fr. par mètre cube, plus 16 fr. de transport et placement : = 57 fr.

Le bois injecté de sulfate de cuivre, durant quinze ans, coûtant par mètre cube 64 fr. + 16 fr. : = 80 fr.

Le bois préparé aux huiles créosotées devant durer également quinze années, coûtant, par mètre cube, 58f,50 + 16 = 74f,50.

Les valeurs correspondantes de l'annuité suffisante pour amortir ce capital au bout de quinze ans, sont, respectivement : 10,33, 3,71 et 3,45. En y ajoutant l'intérêt annuel du capital de premier établissement, on obtient, pour représenter la dépense totale, par mètre cube et par année :

Poteaux non préparés.	13f,18
— préparés au sulfate de cuivre.	7,71
— — aux huiles créosotées	7,44

Ainsi, dans l'hypothèse que les deux procédés de préparation considérés aient pour effet de prolonger jusqu'à quinze années la durée des poteaux, l'économie calculée d'après les opérations de 1862 et de 1863 serait de 41 1/2 p. 100 par l'emploi de sulfate de cuivre, et de 43 1/2 p. 100

par les huiles créosotées. Si cette hypothèse se réalise exactement, la différence n'est pas assez grande pour faire donner la préférence aux poteaux créosotés, eu égard aux inconvénients mentionnés plus haut. Une expérience plus longue est indispensable pour faire obtenir une solution définitive.

IV

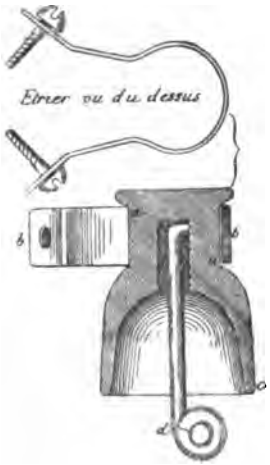
SUPPORTS ISOLANTS ET ACCESSOIRES DIVERS.

Tous les supports isolants des lignes télégraphiques belges sont en porcelaine blanche vernissée. La supériorité de cette matière sur le verre et les terres cuites n'est plus contestée dans les applications télégraphiques. Elle isole parfaitement *tant qu'elle est intacte* et qu'elle conserve une surface intérieure suffisante à l'abri de l'humidité. Elle est très-solide lorsqu'elle est employée dans de bonnes conditions. La plupart des isolateurs employés en Europe laissent à désirer sous ce dernier rapport. Les cloches simples ou doubles employées en Allemagne sont généralement montées sur des tiges de fer de gros diamètre (15 à 20 millimètres). Les dilatations et contractions du fer sous des températures très-diverses doivent nuire, à la longue, à la solidité de la cloche et du scellement. C'est déjà un grand progrès d'avoir substitué le scellement au plâtre à la coulée de soufre qu'on employait autrefois; mais il convient en outre de diminuer, autant que possible, la grosseur de la tige de fer centrale, en lui faisant porter le fil, au lieu de placer celui-ci au-dessus de la cloche, dans une rainure qui subit en outre la fatigue de tous les efforts exercés sur le fil pendant et après la pose. Cet avantage du fil porté sous la cloche a été apprécié en France dès les premières années d'extension de la télégraphie électrique; mais le support français, tel qu'il m'est connu, conserve, à mes yeux, l'inconvénient des oreilles collées à la cuisson et du manque de symétrie parfaite dans la forme; cette symétrie me semblant indispensable pour obtenir une pièce parfaitement solide. De plus, le support est disposé de telle manière, qu'en jetant quelques pierres à la tête d'un poteau, on peut faire tomber les fils supérieurs sur les autres et interrompre ainsi le service de toute une ligne.

Ces divers inconvénients me sembient évités dans le modèle que représente la figure ci-contre, modèle adopté en Belgique depuis cinq ans.

aac est une cloche en porcelaine parfaitement symétrique et d'épaisseur à peu près égale dans toutes ses parties. La fabrication en est extrêmement facile, et le retrait doit s'opérer également sans fissure en aucun

point. *d* est un crochet en fer galvanisé de 9 millim. de diamètre, scellé au plâtre dans la cavité cannelée de la cloche. *bb* est un étrier en tôle mince qui enserre la partie supérieure de la cloche et que deux petites vis fixent au poteau. Cette figure est au quart de la grandeur d'exécution.



On voit que la solidité de la porcelaine est garantie, non-seulement par les facilités de fabrication, mais par l'élasticité des deux pièces servant d'intermédiaire entre le fil et le poteau. On peut objecter le manque de résistance latérale; mais quand, dans une courbe, le fil entraîne la cloche vers le poteau, on l'appuie sur un petit tasseau en bois fixé à celui-ci. Dans l'autre sens, une légère déviation de la verticale est sans inconvénient. Dans les fortes courbes, on peut toujours placer tous les fils du côté extérieur du poteau.

Enfin, dans les cas exceptionnels où la traction latérale est très-forte, on emploie des supports plats en porcelaine, du modèle représenté en profil par la figure ci-contre, au quart de la grandeur d'exécution. L'isolement est moins parfait, mais l'effet n'est point appréciable, à cause du petit nombre.

Quant aux cloches qui forment la presque totalité de nos isolateurs, il est aisé de voir qu'elles ont une partie intérieure assez élevée, à l'abri de la pluie; qu'entre le crochet métallique, qui porte le fil et l'étrier qui communique au poteau, il y a, même en temps brumeux, une énorme résistance opposée aux dérivations de courant; qu'en brisant, par malveillance ou par accident, la partie inférieure de la cloche, on nuit à l'isolement, mais sans faire tomber le fil, car il est bien difficile de briser sous l'étrier la partie supérieure de la cloche, de manière à détacher le crochet.

Ces avantages sont confirmés par l'expérience : rien que sur les lignes télégraphiques du gouvernement belge, il a été placé, depuis 1859, 70,000 isolateurs de ce modèle, et, dans ce nombre, il n'a fallu remplacer que quelques pièces brisées par malveillance ou par accident. En 1859, le nombre d'isolateurs de l'ancien modèle (aux oreilles collées) s'élevait à peine à 54,000, répartis sur toutes les lignes établies jusqu'à cette époque, et il en avait été fourni 93,000 à l'administration depuis 1850. Ainsi, en neuf années, pendant lesquelles le nombre de supports réellement mis en service avait varié de 10,000 (première année) à 54,000, 39,000 pièces avaient dû être remplacées. C'est 4,300 pièces par an pour une moyenne de 32,000 objets en service, ou 14 pour 100,

tandis que jusqu'à présent, dans le nouveau modèle, les remplacements par année ne s'élèvent pas à une pour mille.

D'après la dernière adjudication, le prix du support belge est de 66 centimes par assortiment, savoir :

Cloche en porcelaine.	fr. 32 c.
Crochet en fer galvanisé	» 10 »
Étrier.	» 17 »
2 vis à 2^{f},90 les 0/0.	» 058
Scellement au plâtre.	» 012
Total.	fr. 66 c.

Cette disposition est donc économique par les frais d'établissement comme par les frais de renouvellement. Mais ici l'économie est le côté insignifiant de la question. Ce qui importe, c'est d'éviter les pertes de courant qui résultent de pièces isolantes fendues ou brisées, et les dérangements dus aux réparations fréquentes. C'est à ce point de vue surtout que le résultat est satisfaisant.

Les figures ci-dessous représentent deux supports spéciaux. La figure 1 reproduit, sauf quelques modifications de forme, l'ancien support de tension des lignes françaises. On peut, à volonté, y placer un tendeur double ou enrouler simplement le fil autour de la partie cylindrique inférieure. La figure 2 représente un champignon double ayant en haut et en bas une cloche à l'abri de l'humidité. Il est utilisé surtout aux fins de ligne, pour lesquelles il offre toute la solidité désirable.

Fig. 1

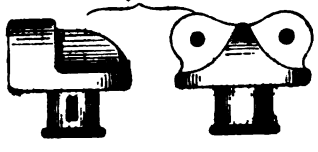
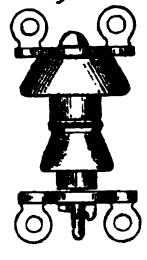
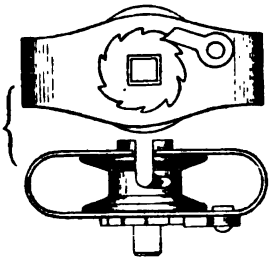


Fig. 2



Les tendeurs doubles fixés au poteau, de 1,000 en 1,000 mètres, par l'intermédiaire d'un support isolant, et sur lesquels on peut enrouler le fil télégraphique de part et d'autre, sont très-commodes dans l'établissement des lignes et pour les réparations. Ils ont l'inconvénient d'amasser facilement la neige sur les poteaux de tension et de créer une cause de résistance dans le circuit, lorsqu'on ne prend pas la précaution de souder, de part et d'autre de chaque tendeur, un fil mince servant de jonction.

On évite ces inconvénients en plaçant sur le fil, sans l'interrompre ni le couper, un tendeur simple disposé comme dans la figure ci-contre (au quart de grandeur). En tournant la clef de gauche à droite, on enroule le fil de part et d'autre autour de la poulie. Cette disposition, très-simple, convient parfaitement au fil de 3 millim. Pour les diamètres supérieurs, la manœuvre n'en est plus aussi facile, et les ouvriers préfèrent le tendeur double et fixe.



Il est essentiel que tous les objets en fer employés sur les lignes télégraphiques soient bien galvanisés au zinc. Les accessoires non galvanisés sont promptement rouillés et hors de service. De plus, la rouille s'étend aux fils et altère leur solidité.

On a cherché à préserver le fer de l'oxydation par un enduit de caoutchouc vulcanisé ou durci par le soufre. Ce moyen, qui semble plus coûteux que le zingage, aurait, notamment pour les crochets, étriers, supports, etc., l'avantage assez notable de rendre le fer isolant. C'est surtout en vue de cet avantage que j'ai fait recouvrir pour essai, d'une couche de caoutchouc durci, des crochets et des étriers *qui seront* prochainement mis en service. Il s'agit de constater surtout *si cette* matière résiste aux intempéries de l'atmosphère et aux variations de température. Si l'essai réussit, l'enduit atteindra le but que l'on s'était proposé par l'emploi du fer émaillé.

Ces objets se préparent dans l'usine de Menin, dont j'ai parlé plus haut. La même société industrielle nous a fourni, également pour essai, 2,000 supports isolants composés d'une cloche en fer coulé recouvrant une seconde cloche en caoutchouc durci (ébonite), laquelle sépare la cloche extérieure du support-console en fer forgé fixé au poteau, d'après la disposition la plus usitée en Allemagne. Le fil télégraphique passe dans une rainure, à la partie supérieure de la cloche en fonte. Chaque pièce complète coûte 85 centimes. Il faudra quelques années pour constater si la cloche intermédiaire résiste aux intempéries de l'air, de manière à conserver ses qualités isolantes et son adhérence aux deux pièces qu'elle sépare. Dans l'affirmative, cette disposition, qui deviendrait sans doute moins coûteuse pour une application plus générale, serait d'un emploi très-facile et très-avantageux.

V

FRAIS D'ÉTABLISSEMENT DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

Les dépenses auxquelles donne lieu l'installation des lignes télégraphiques sont si peu considérables, en comparaison des capitaux qu'exigent les autres travaux publics et la grande industrie, qu'il semble puéril de s'y arrêter. Cependant, dans la télégraphie privée comme dans la télégraphie des chemins de fer, on hésite parfois à établir un fil conducteur de plus, malgré les facilités et la promptitude que le service y gagnerait. La multiplication des moyens de correspondance est un avantage très-important pour le public comme pour les exploitations intéressées. Il n'est pas tout à fait inutile de tenir compte des frais et de les faire connaître, afin que la communication réciproque de ces renseignements contribue aux économies ultérieures.

Les dernières lignes télégraphiques établies en Belgique ont, en moyenne, 12 poteaux par kilomètre, au prix moyen de 7 fr. 25 c., soit 87 fr. pour le bois pris au lieu d'approvisionnement. Le transport étant généralement gratuit le long des chemins de fer, il ne faut ajouter à ce prix que les frais de manutention et de plantation, qui sont d'environ 7 fr. par kilomètre, en tout : 94 fr.

Nos lignes installées sur des routes ordinaires n'offrent que des distances de 20 à 70 kilomètres entre leurs extrémités et le chemin de fer le plus rapproché. Dans ces limites, les frais de transport sont, en moyenne, de 13 fr. par douze poteaux ou par kilomètre, y compris le chargement et le déchargement. Les frais de distribution et de plantation sont aussi plus élevés. On peut les évaluer à 1 fr. 50 c. par poteau ou 18 fr. par kilomètre. La dépense totale moyenne est donc 118 fr. pour l'unité de longueur considérée.

Un fil n° 11, de 3 millim. de diamètre, pesant environ 60 kilog. par 1,000 mètres courants, coûte 31 fr. 20 c., à raison de 52 fr. les 100 kilog.[1]. Un fil n° 8, de 4 millim,, pèse 100 kilog. pour la même longueur et coûte 48 fr.

Les accessoires (isolateurs, tendeurs, etc.), pour l'un et l'autre diamètre de fil, coûtent environ 14 fr. par kilomètre, non compris les installations spéciales, les fils isolés pour tunnels, cours d'eau, etc.

La main-d'œuvre que réclame le placement d'un fil avec ses accessoires a coûté, en dernier lieu, 6 fr. sur les chemins de fer et 12 fr. sur les

1. Ce sont les prix de l'adjudication de 1862. Ceux de 1863 doivent être considérés comme exceptionnellement réduits.

routes. A ce dernier chiffre, il convient d'ajouter 2 fr. pour frais de transport du fil et des accessoires.

D'après ces éléments, la dépense, par kilomètre, peut être établie comme suit :

	Sur chemin de fer.	Sur route ordinaire.
Poteaux, transport, placement, etc. . . .	94 fr.	118 fr.
Un fil n° 11, accessoires et placement. .	51	59
Un fil n° 8. . . id. . . . . id. . . .	68	76
Un fil n° 11 avec les poteaux.	145	177
Un fil n° 8. id. . . . id.	162	194

Ces prix sont, dans leur ensemble, inférieurs à la moyenne kilométrique de 91 fr., extraite plus haut de la dépense générale depuis 1850. Cela provient, en grande partie, des installations spéciales dont on ne peut tenir compte dans une évaluation semblable à celle que je viens de faire.

VI

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

Je me bornerai, en ce qui concerne les appareils télégraphiques, à l'examen de la question suivante :

Quel est le système de télégraphie qui peut, avec le plus d'avantages, être mis entre les mains d'agents ou de personnes quelconques qui ont d'autres occupations et ne font pas de la télégraphie leur profession principale?

Cette question, accessoire dans le service des correspondances des gouvernements et des particuliers, est importante pour la télégraphie des chemins de fer. Ceux-ci semblent l'avoir résolue en adoptant, presque partout en Europe, des appareils à cadran et à lettres dont la disposition extérieure est très-connue. La solution est-elle générale; les appareils à lettres sont-ils bien les plus faciles et les plus commodes pour d'autres que des télégraphistes spéciaux?

Avant d'exprimer mon opinion, je ferai remarquer :

1° Que les employés des chemins de fer, entre les mains desquels on place des appareils télégraphiques, ne sont pas tous des novices dans cette partie de leurs attributions; un grand nombre d'entre eux, aux stations principales surtout, manipulent depuis longtemps et sont d'une très-grande habileté;

2° Que les stations de chemins de fer ne sont pas seules en cause : pour mettre le télégraphe à la disposition des localités encore éloignées

des chemins de fer, l'administration belge a installé des appareils dans cinquante bureaux de poste, où ils sont confiés aux commis de ce service. Il aurait fallu renoncer à cette utile extension du réseau, s'il avait été indispensable d'y préposer un personnel spécial. Nous avons suivi en cela l'excellent exemple de la Suisse qui, depuis longtemps, entretient des bureaux dans les mêmes conditions.

La situation étant ainsi exposée, je n'hésite pas à déclarer qu'à mon avis, dans les bureaux de poste et dans les stations *principales* des chemins de fer, l'appareil Morse est plus commode et plus facile que tous les appareils à lettres à moi connus.

L'appareil à lettres — je le reconnais avec tout le monde — a l'avantage de ne point exiger, comme préliminaires indispensables, l'étude d'un nouvel alphabet et l'exercice d'une manipulation mesurée. S'il est vrai que les novices réussissent moins bien que les agents habitués, à fixer l'aiguille sur les lettres ou à en suivre exactement la marche, il est certain aussi qu'en ralentissant suffisamment le travail, on obtient un résultat dès les premières heures d'apprentissage.

Les appareils Morse, j'en conviens également, demandent une étude préalable, des locaux plus propres et mieux clos, certains soins d'entretien, le remplacement du papier, etc... Mais, une fois ces conditions obtenues et la première difficulté surmontée, ils fournissent une transmission plus rapide, une lecture plus facile et moins sujette à erreurs, parce que la trace des signaux transmis reste sous les yeux du lecteur.

Ce dernier avantage est d'une grande importance en télégraphie, car l'agent qui transmet sait ce qu'il va dire et n'a que la peine de traduire, tandis que le lecteur voit se joindre, aux mêmes difficultés de traduction, la conception d'un texte ignoré que les signaux reçus doivent lui communiquer. En règle générale, il vaut donc mieux, pour épargner de la fatigue aux télégraphistes et des erreurs aux correspondances, faciliter la réception plutôt que la transmission.

Cette observation, très-connue des praticiens, m'a conduit à examiner si les bureaux de poste se trouvent, quant aux avantages et inconvénients réciproques qui viennent d'être détaillés, dans les mêmes conditions que les stations secondaires, qui ont besoin de communiquer télégraphiquement entre elles pour les besoins de l'exploitation des chemins de fer.

Dans la station, l'appareil télégraphique doit être à même de fonctionner toute la journée et même pendant la nuit, il faut donc que plusieurs employés puissent être requis de télégraphier à tour de rôle et que, lors des mutations assez fréquentes de ce personnel, les nouveaux venus soient mis au courant dès leur arrivée.

Dans le bureau postal, le service, presque toujours limité à huit heures de séance, n'exige qu'un seul agent; les mutations sont moins

fréquentes, et l'on ne risque pas de recommencer, en pure perte, une éducation télégraphique qui réclame plus de soins.

Le bureau postal est mieux clos, moins exposé à la poussière et à l'humidité, plus inaccessible aux allants et venants que le local ordinairement destiné à l'appareil télégraphique dans une station intermédiaire de chemin de fer.

Dans cette station, la télégraphie privée est la rare exception; on n'y transmet, en général, que des dépêches de service dont le sujet est plus ou moins prévu, les termes familiers, la rédaction claire et uniforme. Ces dépêches n'étant point taxées, l'expéditeur n'a point d'intérêt à les abréger au point d'en rendre le sens obscur, à les remplir de chiffres, de noms propres, de mots peu usités.

Dans le bureau postal, les télégrammes privés sont l'objet exclusif des transmissions; il faut, avant tout, éviter que l'employé se trompe et s'inquiète. Il faut lui donner, ainsi qu'au public, toutes les garanties d'exactitude possibles.

Le simple énoncé de ces éléments de comparaison suffit, sans explications plus développées, pour démontrer que l'appareil le mieux approprié au service du chemin de fer, de station à station, n'est pas celui qui convient au bureau de poste et, en général, à tout bureau où *l'on* veut utiliser, à des correspondances privées peu nombreuses, les loisirs d'un service sédentaire et régulier.

La plupart des bureaux de poste éloignés des chemins de fer, que l'administration belge a raccordés au réseau télégraphique, sont gérés par un seul fonctionnaire, percepteur ou distributeur, chargé de desservir l'appareil télégraphique du système Morse, en même temps que de tout ce qui concerne le service postal. Parmi ces fonctionnaires qui n'avaient aucune idée du service télégraphique, il en est plusieurs dont l'âge, les études premières et le genre d'aptitude semblaient devoir écarter toute idée de les former à une manœuvre prétendûment difficile. Cependant, la présence et les leçons d'un bon instructeur, pendant cinq à dix jours selon les cas, ont suffi pour dissiper les défiances, les répugnances même que rencontrait ce nouveau service et pour mettre ces bureaux en état de satisfaire leur public restreint, sans occasionner aucun embarras à l'administration. Dans certains bureaux éloignés de toute circulation l'appareil Morse a fonctionné des années entières, sans nécessiter la visite d'un inspecteur ni d'un agent quelconque de la surveillance ou de l'entretien. Ces bureaux ont peu à faire, mais ils satisfont sans frais, sans irrégularités et sans entraves, au service qu'on réclame d'eux.. On peut, leur appliquant un dicton très-connu, dire qu'ils sont les mieux loués, car on n'en parle pas.

C'est un succès de plus pour le système Morse, mais il ne doit point faire bannir les appareils à cadran et à lettres des stations de chemins de fer. Presque toutes les voies ferrées de Belgique ont une ligne d'appareils

à lettres où la plupart des stations interviennent. Mais si la ligne est un peu longue, une seule voie télégraphique ne suffit pas. Il faudrait trop de temps pour faire arriver un télégramme d'une extrémité à l'autre, soit par communication directe, soit par une ou plusieurs réexpéditions. Sur les chemins de l'État les fils directs ou semi-directs du service intérieur servent à la transmission des dépêches du service d'exploitation. En compensation, les appareils des stations intermédiaires sont utilisés aux correspondances privées, toujours assez rares, de ces localités. Le chemin de fer de l'État utilise donc largement les appareils Morse au service de son exploitation. Il en est de même des chemins de fer concédés assez importants pour que le service télégraphique y ait besoin de plus d'un fil. Le gouvernement établit la ligne et les fils directs ou semi-directs avec appareils Morse aux points principaux. La compagnie concessionnaire établit à ses frais les fils omnibus avec appareils à lettres aux stations intermédiaires. L'ensemble est utilisé tant aux dépêches de service qu'aux télégrammes privés.

Bien que le gouvernement place à toutes les stations principales des commis spéciaux du service des télégraphes, le nombre de ces agents ne suffit pas toujours à toutes les exigences. Certains employés, dont le chemin de fer est l'attribution principale, sont mis au courant des deux systèmes d'appareils et concourent très-utilement aux transmissions de toute espèce.

Alors même que cette organisation ne serait pas appliquée à d'autres pays, je suis fondé à considérer l'expérience faite en Belgique comme justifiant l'emploi avantageux des appareils Morse par des employés de chemins de fer, en vue du service direct ou semi-direct et lorsque ces employés ont l'aptitude et la fixité nécessaires pour qu'on leur enseigne utilement l'alphabet et la manipulation. Cette mesure a pour effet de donner aux correspondances principales de l'exploitation une exactitude et une rapidité que l'appareil à lettres ne fournirait en aucun cas.

En effet, l'appareil Morse transmet facilement, par minute, 16 mots de texte ordinaire. Dans les conditions habituelles de la télégraphie privée, cette vitesse est réduite à 18 télégrammes de 20 mots par heure (6 mots par minute), à cause des intervalles indispensables, de l'alternative des transmissions dans les deux sens, des préambules, des accusés de réception, de la répétition d'office des chiffres, noms propres, mots douteux, etc... En transmettant les mêmes correspondances à la suite les unes des autres, sans interruption ni répétition, les nombres en toutes lettres et le texte dans une langue familière aux employés, on arrive à 40 télégrammes par heure. Dans une expérience de ce genre, entre Bruxelles et Anvers, une série de 20 télégrammes privés choisis au hasard et formant un total de 474 mots taxés, a été transmise en 29 minutes 1/2, *sans une seule erreur*. Cela équivaut à la vitesse de 16 mots par minute, généralement obtenue dans la transmission d'un texte continu.

Je crois qu'au moyen des meilleurs appareils à cadran, on ne peut atteindre à la moitié de cette vitesse sans compromettre tout à fait l'exactitude des transmissions.

Quels que soient ces avantages de l'appareil Morse, pour les communications à longues distances des chemins de fer qui n'ont pas à leur disposition les lignes du gouvernement, je ne pourrais en conseiller l'emploi dans les stations intermédiaires et sur les fils dits omnibus. Les détails qui précèdent me dispensent de développer cette opinion; je n'y ajouterai que quelques mots sur les appareils à cadran et à lettres de M. Lippens, constructeur à Bruxelles.

Le modèle qui fonctionne dans la plupart des stations des chemins de fer de Belgique offre les dispositions suivantes :

Aiguille du cadran mue par un mouvement d'horloge; échappement dirigé par les oscillations d'une armature aimantée entre deux électro-aimants de sens contraire; lorsque le courant passe dans un sens, l'électro-aimant de gauche attire et l'électro-aimant de droite repousse l'armature; le contraire a lieu quand le courant passe dans l'autre sens.

Comme transmetteur, une manivelle sur axe vertical, portant une roue à gorge sinueuse, dans laquelle s'engage un levier à mouvement oscillatoire comme celui des anciens appareils français à double manivelle. Autant d'oscillations du levier, autant d'inversions du courant, autant de lettres marquées sur le cadran.

Il n'y a pas de cadran indicateur sous la manivelle; mais, comme les deux récepteurs sont compris dans le circuit, l'agent qui transmet arrête sa manipulation à chaque lettre marquée sous ses yeux, par l'aiguille de son propre cadran. Cette manœuvre s'acquiert facilement par l'habitude; cependant, elle peut être considérée comme un inconvénient inhérent à ce modèle d'appareil : elle limite la vitesse de l'aiguille parce qu'une manipulation trop rapide ferait dépasser les lettres à indiquer. Par le même motif, la manivelle doit parcourir, pour chaque case ou lettre du cadran, un angle de 45°, ce qui correspond à quatre tours pour faire passer l'aiguille devant toutes les lettres.

Sous tous les autres rapports, l'appareil de M. Lippens donne d'excellents résultats pratiques, parmi lesquels je citerai spécialement l'absence de tout ressort à régler et la faculté de transmettre à toute distance sans modifier la force de la pile. Si je signale spécialement le côté faible de la manipulation, c'est parce qu'il a donné lieu à un perfectionnement récent, dû à l'inventeur : la substitution d'un clavier circulaire à la manivelle.

Ce clavier est placé auprès du cadran récepteur. L'aiguille, le mouvement d'horloge, l'armature et le double électro-aimant sont disposés comme dans l'ancien modèle, mais les courants sont autrement distribués. Ils passent par la roue d'échappement, qui est en argent et, de là, alternativement, par les deux palettes en acier trempé qui dégagent cette

roue et qui suivent mécaniquement les mouvements de l'armature. Dans les deux appareils en correspondance, ce sont ces mouvements mêmes qui, en faisant changer la palette en contact, produisent le renversement du courant et, par conséquent, le rappel de l'armature. L'appareil est donc un trembleur sans ressort antagoniste, dont le mouvement continue tant qu'il n'est pas arrêté mécaniquement.

Une touche quelconque étant abaissée, provoque, par le contact d'une pièce spéciale, le premier envoi du courant et, comme conséquence, les envois alternatifs dans les deux sens. Ces courants sont bifurqués comme suit : un courant transmis directement de la pile à la ligne arrive au récepteur du poste correspondant, parcourt les deux électro-aimants de ce récepteur en sens contraire, de manière à attirer l'armature d'un côté et à la repousser de l'autre, puis, de là, trouve la terre. Au poste qui transmet, l'autre pôle de la pile a trouvé la terre en passant par l'électro-aimant de droite de l'appareil local. En même temps, un courant dérivé s'est dirigé dans l'électro-aimant de gauche de ce même appareil. Ce courant dérivé n'agit donc que sur un seul électro-aimant et son action est même contrariée au lieu d'être aidée par le courant de ligne qui passe dans l'électro-aimant de droite. Mais comme le courant dérivé, rencontrant moins de résistance, est le plus actif des deux, les impulsions, aux deux postes, sont égales et simultanées. Ce mode de distribution qui résulte forcément des communications établies pour distribuer les courants, a l'avantage de leur opposer une résistance beaucoup moindre que dans l'appareil à manivelle, où il y a, outre la ligne télégraphique, huit bobines à franchir par un seul et même courant.

J'ai dit qu'une touche abaissée met et maintient en circulation l'aiguille du cadran; cette touche porte un buttoir qui interrompt mécaniquement la marche de l'aiguille de l'appareil transmetteur, au moment où celle-ci arrive devant la touche abaissée et la lettre correspondante. L'interruption est calculée de telle sorte que la roue d'échappement ne touche, en ce moment, ni à l'une ni à l'autre des palettes régulatrices; il n'y a donc plus de courant et l'appareil de l'autre poste s'arrête en même temps. On peut alors lâcher la touche sans que l'appareil se remette en marche, puisqu'en se relevant, la touche fait cesser la communication avec la pile, qui avait été le point de départ du mouvement de l'aiguille. Celle-ci reste immobile jusqu'à ce qu'une autre touche, provoquant un nouvel envoi du courant, par la palette retombée sur la roue, attire l'armature et remette de nouveau les aiguilles en mouvement.

On voit donc qu'une touche abaissée devant une lettre provoque le départ de l'aiguille, du point quelconque où elle se trouve, jusqu'à la lettre indiquée, à moins qu'on ne lâche la touche avant que la lettre ne soit marquée, auquel cas les deux aiguilles, à l'arrivée comme au départ, s'arrêteraient à cet instant.

Dans cette disposition, il n'y a plus aucune chance de dépasser une

lettre. Rien n'empêche donc de donner à l'aiguille une très-grande rapidité d'un point à l'autre. De là, plus de vitesse de transmission, avec une manipulation qui ne demande aucune adresse.

M. Lippens m'a fait voir un perfectionnement qu'il a apporté, récemment encore, à son appareil à clavier, dans le but de donner à l'appareil qui reçoit, une sensibilité plus grande qu'à celui qui transmet et de compenser ainsi les différences de force provenant, tant de la disposition spéciale du système, que des pertes de courant de la ligne. Indépendamment des deux vis de rappel placées comme d'ordinaire auprès des électro-aimants, pour limiter l'amplitude des oscillations de l'armature, celle-ci, à sa partie supérieure, est engagée dans une rainure qui réduit l'amplitude à ce qui est strictement nécessaire pour dégager l'échappement. Ces oscillations réduites sont celles de l'appareil qui reçoit. A l'appareil qui transmet, la touche abaissée, en même temps qu'elle provoque l'envoi du courant, relève la rainure supérieure et laisse à l'armature la faculté d'osciller plus largement jusqu'aux vis de rappel. Cela donne plus de durée aux contacts des palettes avec la roue d'échappement. En même temps, l'appareil qui reçoit conserve, par ses oscillations très-réduites, une sensibilité plus grande que l'appareil qui transmet.

L'appareil à clavier de M. Lippens a été adopté par l'administration communale de Bruxelles qui vient de relier, par des lignes télégraphiques spéciales, l'hôtel de ville, les bureaux de police, les postes de secours en cas d'incendie, etc. Il est également en service dans les stations des chemins de fer de l'Etat Néerlandais[1]. Les résultats de cette application sont très-favorables, d'après les renseignements qui me sont parvenus. Toutefois, les chemins de fer de Belgique, qui ont un matériel complet d'appareils à manivelle, n'ont pas changé de modèle jusqu'à présent. Dans un même service, l'uniformité de système est une condition essentielle. Il faut qu'une station puisse correspondre dans tous les sens, au moins avec quatre ou cinq stations de chaque ligne. Des modèles différents créeraient des zones sans communications entre elles. L'adoption du clavier entraînerait donc la modification complète d'un matériel qui, rien que pour nos chemins de fer de l'État, comprend 476 appareils. Cette dépense ne serait justifiée que si les appareils à clavier atteignaient la dernière limite du perfectionnement dont la télégraphie spéciale des chemins de fer est susceptible. Nous croyons qu'il n'en est pas ainsi et qu'un système d'appareils à lettres dans lequel la pile motrice serait remplacée par des aimants, serait de beaucoup préférable.

Il est rare que, dans les stations peu importantes, les piles trouvent l'emplacement et les soins désirables. C'est généralement de la mauvaise installation ou de l'entretien défectueux de la pile que proviennent les

1. Ces appareils sont brevetés en France au nom de MM. Lippens et Digney frères.

interruptions de service. Il y aurait donc très-probablement économie et très-certainement amélioration de travail à les supprimer.

Depuis dix années environ, M. Lippens s'est occupé d'appliquer à ses appareils à cadran les courants alternatifs magnéto-électriques. Rien ne se prête mieux, en effet, à ce genre de moteur, que des appareils pour lesquels les courants de pile doivent être alternativement renversés, surtout si une émission rapide suffit pour dégager l'échappement et faire avancer l'aiguille.

Des recherches, dans le même sens, ont été faites ailleurs. Un des chemins de fer concédés de Belgique a mis en service quelques appareils à aimants, du système de M. Siemens. On leur reproche l'effort que nécessite la manipulation et certaines irrégularités de marche. Le service des télégraphes de l'État a essayé deux appareils électro-magnétiques de M. Wheatstone, tels qu'ils sont employés aux communications télégraphiques mises à la disposition des particuliers, entre les divers quartiers de Londres. L'expérience a donné de bons résultats; les appareils sont admirablement exécutés, mais ils sont assez coûteux et l'on peut considérer comme un inconvénient pratique, l'obligation de tourner une manivelle d'une main, tandis que l'autre main marque les lettres sur le clavier.

Ces appareils, ainsi que ceux de MM. Henley, Wylde et Allan, sont décrits de la manière la plus complète et la plus intéressante dans le tome V de l'Exposé des applications de l'électricité, par M. le comte Du Moncel. Je n'en ai parlé que pour faire entrevoir la possibilité d'appliquer, aux appareils à lettres des chemins de fer belges, un manipulateur magnéto-électrique. En attendant cette amélioration complète, il semble sage de garder les appareils d'ancien modèle et de renoncer aux claviers, quelles que soient les facilités relatives qu'ils présentent.

Je terminerai ces renseignements sur nos appareils par l'exposé comparatif des frais de premier établissement d'un poste, pour chaque système :

Appareil Morse.

Un récepteur à molette sans relais, marquant les signaux à l'encre, d'après le système de MM. Digney [1].	350 fr.
Un manipulateur.	15
Sonnerie, avec boussole et paratonnerre.	55
Commutateur pour les translations, etc.	8
Six écrous serre-fils.	6
Table ordinaire.	30
Fils de raccordement, montage, main-d'œuvre, etc.	4
Total.	468

1. Y compris droits de douane et frais de transport de Paris à Bruxelles.

Appareil Lippens à manivelle, à clavier.

Appareil complet comprenant, dans une boîte en chêne, outre le récepteur et le manipulateur, une sonnerie et deux relais avec indicateurs pour appels à droite et à gauche. . . . . 375 fr. 425 fr.
Commutateur avec paratonnerre. 18 18
Table avec compartiments pour la pile, etc. . . 47 47
Totaux. . . . 440 490

Ces évaluations ne comprennent pas les frais de la pile qui varient d'après le système et les circonstances.

L'administration des télégraphes de Belgique emploie :

1° Sur les lignes principales et pour les appareils qui fonctionnent continuellement, des piles de Daniell à globes (procédé de M. Parelle), coûtant pour 225 centimètres carrés de surface de zinc, 3 fr. par élément (première installation) et par année 2 fr. 80 de frais d'entretien, alimentation, renouvellement, etc. Ces frais sont réduits respectivement à 2 fr. et 1 fr. 80 lorsque la surface du zinc plongé est de 125 centimètres carrés seulement ;

2° Sur les lignes omnibus et pour les appareils dont le travail n'est pas continu, des piles de Bunzen sans acide azotique coûtant 1 fr. 70 par élément (première installation) et 80 cent. par année.

3° A titre d'expérience, des piles d'après les procédés de MM. Marié Davy (sulfate d'oxydule de mercure) et Minotto (Daniell avec du sable remplaçant le vase poreux). Ces piles donnent de très-bons résultats, mais l'expérience faite n'a pas encore fourni de renseignements suffisants sur la dépense.

VII

SONNERIES. HORLOGES ÉLECTRIQUES.

L'adoption d'un bon système de sonnerie électrique a une grande importance dans la télégraphie. Cette importance est d'autant plus grande que les appareils sont moins souvent employés et les appels moins fréquents. La télégraphie des chemins de fer est donc particulièrement intéressée à posséder des moyens d'appel à peu près infaillibles, qui ne laissent aucune excuse aux agents qui ne se sont point trouvés à leur poste.

On a reconnu depuis longtemps que les sonneries à mouvement d'hor-

loge avec échappement ont des défauts qui empêchent d'y trouver la sûreté, la régularité exigées. Il faut, pour dégager l'échappement, des courants de force constante; la sonnerie doit être remontée, etc.

Les sonneries dites *trembleuses* adoptées, dès 1852, dans le service des télégraphes belges, se substituent généralement aux sonneries à échappement, sur les lignes télégraphiques étrangères, surtout depuis que les particuliers emploient des sonneries électriques dans leurs appartements. Cette dernière application, qui offre les conditions les moins favorables au point de vue de la surveillance et de l'entretien, n'aurait pas pu être généralisée, si l'on n'avait eu que le système à échappement.

Les trembleuses employées, en Belgique, depuis douze ans et qui portaient, dans le principe, le nom de *Sonneries vibratoires*, sont dues à M. Lippens à qui je suis heureux de pouvoir attribuer la disposition la plus pratique et la plus avantageuse qui ait été donnée aux sonneries électriques, depuis cette époque.

M. le comte Du Moncel, dont le nom fait autorité en pareille matière, donne à ce sujet, dans le volume qui vient d'être cité, les détails les plus circonstanciés. Le brevet de M. Lippens date du 20 août 1850. Il décrit de la manière la plus précise, les deux ressorts dont la combinaison favorise les oscillations dues aux courants alternativement interrompus et reproduits. Ces ressorts sont indispensables pour assurer de bons contacts et pour aider au mouvement alternatif. Ils n'existaient pas dans le rhéotome de Neef; dans la sonnerie de M. Siemens, la combinaison était entièrement différente.

En 1853, des industriels français, qui, d'après le témoignage de M. Du Moncel, ne connaissaient pas la sonnerie de M. Lippens, commencèrent à appliquer des appareils semblables aux usages domestiques. Cette application, lorsqu'elle se répandit en France, donna lieu à différents procès en contrefaçon, à l'occasion desquels les tribunaux français déclarèrent le procédé tombé dans le domaine public, par le fait d'invention et d'application antérieure en Belgique.

Parlant des dispositions jugées préférables dans ce pays, je n'ai pu résister au désir de citer l'inventeur belge qui, ne prévoyant pas le nombreux débit qu'il trouverait plus tard dans les sonneries d'appartement, a abandonné son premier brevet. Il ne lui en reste plus qu'une simple satisfaction d'amour-propre qu'il me semble équitable de ne point lui refuser.

Les sonneries trembleuses sont certainement les meilleures, dans les bureaux télégraphiques comme dans les stations de chemin de fer et même sur les points de la voie où l'on veut un avertisseur plus facile qu'un appareil télégraphique complet. Sur les plans inclinés de Liége, le signal du départ est donné aux machines fixes qui mettent le câble en mouvement, au moyen de sonneries trembleuses qui se répondent en répétant les signaux. Le courant est envoyé par un manipulateur du

système Morse. On peut produire ainsi des *longues* et des *brèves*. En les combinant, on peut varier les signaux. Des agents connaissant l'alphabet Morse pourraient même échanger ainsi des phrases entières, à l'instar de la pratique suivie sur quelques lignes télégraphiques américaines où les télégrammes sont reçus à l'ouïe, sans laisser courir la bande de papier.

J'ai fait placer des sonneries du même genre entre Balgerhoeke et Schipdonck, dans la Flandre orientale, pour le service des ponts et chaussées. Il s'agit, lorsque les eaux provenant du rouissage du lin se présentent dans la rivière la Lys, de manœuvrer des écluses pour les faire passer dans un canal de dérivation et en éviter l'infection à la ville de Gand. Autrefois on envoyait des cantonniers qui s'éreintaient et arrivaient trop tard. Actuellement les éclusiers correspondent par coups de sonnerie. C'est un service qui doit marcher très-régulièrement, car je n'en entends jamais parler.

Je citerai enfin une excellente disposition que nous avons empruntée au chemin de fer du Nord : les sonneries tremblеuses tintant d'une manière continue, lorsque les disques d'arrêt sont bien tournés, de manière à fermer le passage, soit aux entrées de station, soit dans les courbes ou sur tout autre point dangereux des chemins de fer. C'est, à mon avis, la meilleure application électrique qui ait été faite aux signaux de chemin de fer, parce qu'elle est absolument infaillible. En effet, si la sonnerie ne fonctionne pas, l'attention est éveillée, on emploie sur-le-champ un autre moyen do vérifier la position du disque, et l'on n'est exposé à aucun accident.

Les signaux électriques qui ont, au contraire, pour effet, d'inspirer la sécurité, *lorsqu'ils ne sont pas produits*, me semblent devoir être rejetés par une exploitation prudente, car leur non-apparition peut être l'effet d'un dérangement du fil conducteur ou des appareils électriques; ceux-ci inspirent alors une fausse sécurité et deviennent des plus dangereux.

Les horloges électriques peuvent être employées très-utilement dans les villes, les stations ou les grands bureaux télégraphiques. On ne pourrait encore les conseiller dans l'étendue d'un réseau complet de chemin de fer ou de lignes télégraphiques qui recevraient l'heure d'une horloge-type unique. Il y aurait, dans l'emploi d'un fil conducteur sur tout ce développement et pour ce seul usage, trop de dépense et trop de chances de dérangement. Mais, dans une station importante, il est difficile d'avoir autant d'horloges ordinaires que le service le réclame et, lorsqu'on les obtient, il est encore plus difficile de les maintenir en parfait accord. Des cadrans électriques marchant d'après l'heure de l'horloge principale de la station constituent, lorsqu'ils sont exacts, une disposition très-facile et très-avantageuse.

Les horloges électriques commencent à se répandre en Belgique. Les villes de Bruxelles et de Gand ont des cadrans placés au coin des rues et

reproduisant l'heure de l'hôtel de ville. Ils ont été établis par M. Nolet, constructeur à Gand, où la station principale des chemins de fer de l'État a pris également des cadrans faisant partie du réseau de la ville. Leur marche est généralement régulière. L'administration paye au constructeur 75 fr. par cadran installé et devenu sa propriété, plus 10 fr. par cadran et par année pour entretenir, règler, etc. Pour les cadrans de grande dimension (0m,60), le prix d'installation est 100 fr.

A Liége, M. le professeur Glœsener a également fait établir un réseau de cadrans électriques. Enfin, dans les locaux assez étendus de la station du Nord, à Bruxelles, lesquels comprennent le bureau télégraphique principal de la capitale, ainsi qu'un bureau de poste, l'heure est donnée par la grande horloge de la façade, construite, ainsi que les cadrans électriques, par M. Bouckaert, horloger à Bruxelles.

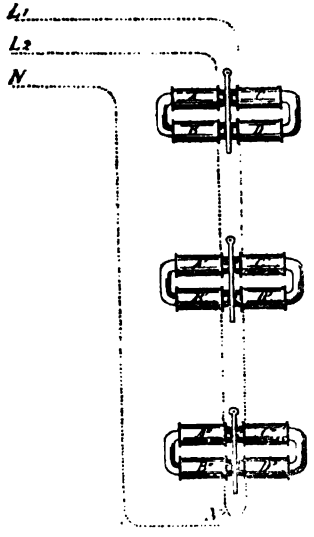
Ce constructeur est breveté pour deux perfectionnements à l'horlogerie électrique. J'essayerai d'en donner une idée succincte :

La première disposition est applicable surtout aux cadrans de dimensions moyennes (35 centimètres de diamètre et au-dessous), aux pendules de cheminées, etc. L'horloge-type envoie des courants alternativement renversés, par exemple, de demi-minute en demi-minute. A cet effet, l'un de ses mobiles porte un commutateur composé de deux roues isolées entre elles, mais attachées respectivement aux deux pôles de la pile. Ces deux roues portent des chevilles conductrices qui alternent et viennent appuyer successivement, par la rotation de l'axe, sur des ressorts en argent mis en relation, l'un avec le fil conducteur, l'autre avec la terre, qui sert à compléter le circuit. On conçoit que, par la rotation de l'axe, lorsque le pôle cuivre est mis en communication avec le fil conduisant aux cadrans, le pôle zinc est mis en relation avec la terre, et réciproquement. Entre les contacts successifs, il y a des intervalles pendant lesquels la pile ne fonctionne pas.

Derrière chaque cadran récepteur, se trouvent deux électro-aimants en fer à cheval entre lesquels une armature aimantée est alternativement attirée à droite pendant qu'elle est repoussée à gauche, attirée à gauche pendant qu'elle est repoussée à droite. Une tige, faisant corps avec l'armature, est suspendue au-dessous d'elle dans la verticale du point de tangence de deux roues dentées de 60 dents chacune. L'une de ces roues a le même axe que l'aiguille des minutes; l'autre est simplement engrenée à la première. Lorsque la tige est poussée à gauche avec l'armature, une griffe articulée, qu'elle soutient sur la première roue, fait tourner celle-ci d'une demi-dent et entraîne la seconde roue en sens inverse; lorsque la tige est poussée à gauche, une griffe semblable et symétrique pousse une dent de la seconde roue qui fait ainsi avancer la première d'un second demi-cran. Les griffes (ou cliquets) étant disposées en plan incliné, de manière à glisser quand elles tirent et à n'agir que quand elles poussent, on conçoit que les deux roues avancent toujours

dans le même sens. Il n'y a donc pas de ressort antagoniste, pas d'effet de réaction ou de recul possible. Cette disposition, excessivement simple, n'exige pas des courants constants et fonctionne avec la plus grande régularité.

Dans la seconde disposition, l'inventeur s'est proposé d'obtenir une force plus grande en détruisant, au moyen d'un fil conducteur accessoire, l'aimantation qui persiste après chaque interruption du circuit. Elle comporte, comme la précédente, deux électro-aimants vis-à-vis l'un de l'autre, pour chaque cadran, mais l'armature, qui oscille entre eux, est en fer doux au lieu d'être en acier aimanté.



La figure ci-contre est nécessaire pour indiquer le passage des courants. Elle représente les électro-aimants de trois cadrans successifs, supposés dans le circuit. Les mêmes faits auront lieu pour un plus grand nombre.

Les fils L_1 L_2 viennent du commutateur de l'horloge-type, lequel reste établi comme dans le système précédemment décrit. On doit donc concevoir des périodes successives pendant lesquelles :

1° L_1 communique au cuivre et L_2 au zinc de la pile, pendant 7 secondes;

2° L_1 et L_2 sont détachés de la pile pendant 23 secondes;

3° L_1 communique au pôle zinc et L_2 au pôle cuivre de la pile, pendant 7 secondes;

4° L_1 et L_2 sont détachés de la pile, pendant 23 secondes; et ainsi de suite.

Un troisième conducteur NN′ établit une communication directe et permanente entre le zinc de la même pile motrice et la partie moyenne de la dernière paire d'électro-aimants.

Pendant la première période, le courant principal passe de L_1 dans les bobines CD, C′D′, C″D″ et retourne au zinc par N′N. Un courant dérivé beaucoup plus faible, à cause de la résistance en plus qui lui est opposée, retourne au zinc par les bobines B″A″, B′A′, BA.

Les armatures, sollicitées à droite par une attraction beaucoup plus forte que celle de gauche, font leur mouvement à droite et y restent, même pendant la seconde période, par l'inertie du mécanisme et par le magnétisme rémanent.

Dès le commencement de la troisième période, le courant principal passe de L_2 dans les bobines AB, A′B′, A″B″, et retourne au zinc par N′N. Un courant dérivé passe en même temps dans les bobines D″C″, D′C′, DC, dans un sens contraire au courant de la première période, et

en détruit instantanément le magnétisme rémanent. Les armatures sont donc attirées à gauche, sans aucun obstacle résultant des effets du courant précédent.

On voit que, pendant chaque période d'émission, le courant dérivé, qui semblerait devoir combattre l'effet du courant principal, est employé seulement à neutraliser le magnétisme rémanent de la période d'émission précédente, lequel s'opposerait sans cela au mouvement prompt et régulier de l'armature.

Cette disposition, qui pourrait trouver d'autres applications, a d'excellents résultats dans la marche des grands cadrans électriques. Autrefois, le poids des aiguilles faisait recourir, en pareil cas, à un mouvement d'horlogerie dissimulé derrière le cadran et dont le courant se bornait à provoquer l'échappement. M. Bouckaert fait marcher, sans cet auxiliaire, deux cadrans d'*un mètre* de diamètre placés dans la gare du Nord à Bruxelles. Une pile de 12 éléments du système Daniell et de grandeur moyenne suffit à la marche parfaitement régulière de ces deux cadrans et de cinq autres, de grandeurs diverses, fonctionnant dans le même circuit.

Le conducteur NN′ peut être remplacé par la terre, mais il reste toujours un fil de plus dans la seconde disposition que dans la première. Dans l'enceinte d'une même station ou d'une même usine, cela n'a pas d'inconvénient sérieux.

Les grands cadrans d'un mètre ont coûté 150 fr. chacun. Les cadrans de moindre dimension 80 fr. et les pendules de cheminée, en marbre noir, 90 fr. Pour l'entretien, le constructeur reçoit 5 fr. par cadran et par année, la pile et les fils conducteurs étant à la charge de l'administration.

Tous ces cadrans fonctionnent d'une manière parfaitement régulière. Les effets de la gelée et un accident à un fil conducteur ont seuls donné lieu à des interruptions momentanées. Je ne sais si ce résultat a été égalé dans d'autres applications du même genre, mais je crois qu'il n'a pas été dépassé.

VIII

RELATIONS DE SERVICE DU TÉLÉGRAPHE AVEC LES CHEMINS DE FER.

Il a été reconnu, depuis longtemps, qu'un chemin de fer d'une certaine étendue ne peut satisfaire, au moyen d'un seul fil télégraphique, aux correspondances que nécessite son exploitation. Les relations entre les points extrêmes sont ordinairement les plus fréquentes. S'il y a plus de quatre stations pourvues d'appareils, le délai nécessaire pour les faire

retirer du circuit et pour mettre les extrémités en communication directe, est un premier inconvénient auquel vient se joindre, pendant ce temps, la cessation de toute correspondance entre les points intermédiaires. Si, pour éviter ces entraves, on se résigne à une ou deux réexpéditions, on occupe également, d'une façon embarrassante, un personnel qui a d'autres besognes et des appareils qu'on pourrait mieux employer; en définitive, le retard est à peu près le même dans les deux cas.

Un chemin de fer, qui n'est pas en position de remettre les dépêches de service à longue distance aux bureaux télégraphiques de l'État, se trouve donc obligé d'établir à ses frais, outre le fil omnibus, un, deux ou même trois fils directs ou demi-directs, avec des appareils spéciaux dans les stations principales.

J'ai dit, en parlant des appareils, que les lignes Morse du gouvernement belge sont largement utilisées par le service des chemins de fer de l'État et des chemins de fer concédés. En compensation, le gouvernement obtient le concours du personnel des chemins de fer et l'emploi de leurs appareils, pour les correspondances privées des localités intermédiaires. Sur 252 bureaux télégraphiques ouverts au public au 1er janvier 1864, 80 fonctionnent exclusivement au moyen des appareils des lignes et du personnel des chemins de fer concédés. Les 172 bureaux de l'État sont desservis, savoir :

23 par des télégraphistes exclusivement;
25 par des télégraphistes aidés d'autres agents;
47 par des agents des postes exclusivement;
47 par des agents des chemins de fer de l'État;
30 par des agents des chemins de fer concédés.

A la même date, le personnel contribuant au service des correspondances privées se composait de :

167 télégraphistes (commis ou surnuméraires du service des télégraphes);
228 agents des postes et des chemins de fer de l'État;
194 agents des chemins de fer concédés.

On voit par là que la télégraphie privée utilise un très-grand nombre d'agents des chemins de fer, mais comme leur concours n'est réclamé que dans les bureaux secondaires, leur part dans le travail effectif est bien loin de correspondre à leur nombre;

En effet, sur 100 transmissions ou réceptions de télégrammes privés, il y a :

87 opérations faites par les télégraphistes;
7 — par les agents des postes et des chemins de fer de l'État;
6 — par les agents des chemins de fer concédés.

Le concours obtenu est précieux, non par le nombre de correspondances, mais par la présence de ces employés suppléants auprès des appareils, présence nécessitée par d'autres services et qui dispense en même temps le télégraphe de préposer et de rétribuer un personnel spécial là ou le trafic n'en justifierait pas la dépense.

Ce n'est pas seulement dans la télégraphie privée que les télégraphistes proprement dits prennent la part de travail la plus large. Sur cent dépêches échangées pour le service de l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes, 83 sont transmises par des télégraphistes et 17 seulement par des employés des chemins de fer de l'État. Il est utile de remarquer que 16 dépêches sur cent concernent le service des télégraphes; que, d'autre part, on ne comprend pas sous la dénomination de dépêches de service, les avis échangés entre stations voisines pour donner l'heure, annoncer les trains, etc. Il n'en reste pas moins une part très-considérable des correspondances du chemin de fer, entre les mains des agents du télégraphe, parce qu'ils desservent les bureaux placés dans les stations principales.

Ces renseignements établissent, de la manière la plus palpable, l'utilité réciproque de la fusion. J'y ajouterai quelques détails sur les arrangements adoptés de commun accord.

1° *Chemins de fer de l'État.* Le concours du personnel des stations est déterminé par les dispositions suivantes, qui font partie du recueil d'instructions mis entre les mains de tous les agents qui s'occupent de télégraphie :

« Les stations et les perceptions qui n'ont qu'un télégraphiste four-
« nissent un employé du service des chemins de fer ou des postes pour
« le remplacer aux heures des repas et le suppléer si les circonstances
« l'exigent.

« Lorsqu'il n'y a point de télégraphiste, le chef immédiat[1] désigne un
« agent qui en remplit les fonctions et qui est remplacé, aux heures d'ab-
« sence, par un autre agent également désigné.

« Les obligations imposées aux télégraphistes le sont également aux
« suppléants. Lorsque ceux-ci sont de service au télégraphe, ils en font
« momentanément leur attribution principale et ils doivent répondre à
« un appel, toute autre besogne cessante.

« Dans les bureaux télégraphiques où les correspondances sont peu
« nombreuses, les télégraphistes, de même que les suppléants, concou-
« rent au service des chemins de fer ou des postes par un travail séden-
« taire, réglé par le chef immédiat; mais il faut qu'ils soient toujours
« à portée de voir ou d'entendre l'appel et d'y répondre sans retard. »

En Belgique, les chemins de fer, qui fournissent à la télégraphie leur contingent en personnel, appareils, locaux, etc., jouissent seuls de la

1. Chef de station ou percepteur des postes.

gratuité des correspondances. Les services publics émettent des dépêches d'État qui ont priorité sur les autres télégrammes, mais qui sont taxées de même. Le compte des taxes est liquidé trimestriellement.

On n'admet donc *en service* que les télégrammes échangés entre fonctionnaires de l'administration des chemins de fer, postes et télégraphes pour le service de cette administration.

Toute dépêche étrangère à ce service, ou transmise dans un intérêt particulier, rentre dans la catégorie des dépêches d'État ou des télégrammes privés.

Les réclamations ou les demandes de renseignements concernant des objets oubliés ou égarés par des voyageurs, sans que l'administration ou ses agents soient en faute, ne peuvent être transmises par voie télégraphique, que si les intéressés consentent à payer la taxe, d'après le tarif des correspondances privées.

Tous les trains sont annoncés pendant la nuit, c'est-à-dire de neuf heures du soir à six heures du matin. Pendant la journée, on n'annonce que les retards de plus de vingt minutes.

L'heure de Bruxelles est transmise à toutes les stations de l'État, chaque matin, à sept heures, dans l'ordre indiqué par un tableau spécial. Ce tableau détermine légalement le parcours des dépêches de service, *circulaires* adressées soit à toutes les stations télégraphiques du réseau, soit à toutes les stations d'une ligne désignée.

Ces communications sont les seules qui soient transmises régulièrement de station à station. Les autres, qui concernent les cas particuliers, font l'objet de dépêches de service avec adresse et signature. La plus grande concision est recommandée. Aucune limite n'est imposée quant *au nombre* de dépêches échangées entre stations voisines; mais l'emploi des lignes télégraphiques directes ou semi-directes, ainsi que les communications qui doivent traverser plusieurs stations, ne doivent avoir lieu que pour des correspondances urgentes et indispensables.

2° *Chemins de fer concédés.* Les cahiers des charges des concessions accordées par le gouvernement belge, depuis quelques années, contiennent l'article suivant :

« Le gouvernement pourra établir et entretenir, le long des voies du « chemin de fer concédé, une ligne télégraphique sur poteaux ou sou- « terraine, d'après les dispositions qu'il jugera les plus convenables, « pourvu qu'il n'en résulte ni danger, ni entrave pour le service du che- « min de fer.

« Dans les stations où le gouvernement désirera faire construire des « locaux spéciaux pour installer des appareils télégraphiques, les con- « cessionnaires fourniront le terrain nécessaire, dans une situation faci- « lement accessible.

« Les concessionnaires seront tenus de faire garder, par leurs agents,

« les fils et appareils télégraphiques. Lesdits agents donneront connais-
« sance à l'administration des accidents ou dérangements, de leurs
« causes et de tous les renseignements utiles au bon entretien de ces
« lignes.

« Les fonctionnaires ou agents de l'administration, voyageant pour le
« service de la ligne télégraphique, les appareils et matériaux destinés à
« la construction ou à l'entretien de cette ligne, seront transportés gra-
« tuitement.

« Les concessionnaires ne seront admis à réclamer aucune indemnité
« du chef des obligations qui viennent d'être énoncées.

« Les dépêches du service du chemin de fer seront admises sur la ligne
« télégraphique de l'État, aux conditions à déterminer par le gouverne-
« nement, d'après les circonstances.

« Les concessionnaires pourront, en outre, établir, sur les poteaux de
« l'État, des fils télégraphiques destinés au service de l'exploitation du
« chemin de fer.

« Dans ce cas, le gouvernement désignera les stations où les fils des
« concessionnaires devront aboutir à des appareils placés dans les bu-
« reaux de l'État et manœuvrés par les agents de l'État.

« Les agents des concessionnaires auront le droit d'échanger entre
« eux, comme dépêches de service, les communications relatives à l'ex-
« ploitation de la ligne concédée.

« Toutes ces communications seront inscrites aux stations de départ et
« d'arrivée, sur des registres spéciaux, où elles figureront avec numéro
« d'ordre et par date. Ces registres pourront être examinés et contrôlés
« par les fonctionnaires désignés à cet effet par le gouvernement.

« En cas de doute sur les catégories des correspondances admissibles
« en service, la question sera résolue, quels que soient les fils ou ap-
« pareils employés, d'après les règles suivies sur le chemin de fer de
« l'État. »

En l'absence de dispositions législatives sur cette matière, et les premières concessions ayant été accordées sans réserve aucune, en ce qui concerne le télégraphe, la plupart des chemins de fer concédés sont libres d'organiser leur service comme ils l'entendent. Toutefois, comme leurs stations principales sont ordinairement en exploitation commune avec les chemins de fer de l'État, comme, d'autre part, les compagnies ont le plus grand intérêt à fusionner leur service télégraphique avec celui du gouvernement, presque toutes ont souscrit à des arrangements dont je reproduis le spécimen le plus récent :

« Art. 1^er^. Le gouvernement établira, à ses frais, une ligne télégra-
« phique le long du chemin de fer de X, depuis la station de A jusqu'à la
« station de Z.

« La compagnie établira, à ses frais, sur cette ligne, les fils et les ap-
« pareils télégraphiques qu'elle jugera utiles au service de son exploita-

« tion. Le placement des fils de la compagnie sur les poteaux de l'État « ne donnera lieu à aucune redevance.

« Art. 2. Les agents de la compagnie auront le droit d'échanger entre « eux, comme dépêches de service, entre les stations de A et Z, les té- « légrammes relatifs à l'exploitation de la ligne. Le fil direct de l'État « pourra servir, accessoirement, à ces correspondances de service.

« En cas de doute sur les catégories de correspondances admissibles « en service, la question sera résolue d'après les règles suivies sur les « chemins de fer de l'État.

« En dehors des dépêches du service de la compagnie et de celles qui « seront transmises pour le service des chemins de fer, postes et télégra- « phes de l'État, toutes les correspondances seront taxées conformément « aux règlements et tarifs adoptés par le gouvernement.

« Art. 3. Aux stations de A, M, N, Z, les appareils auxquels aboutiront « les fils de la compagnie seront fournis et entretenus, avec leurs acces- « soires, par le gouvernement. Ils seront placés dans le bureau télégra- « phique de l'État et desservis, sans redevance, par les agents de l'État.

« Aux autres stations, les appareils de la Compagnie seront desservis « par ses agents et placés dans ses locaux, auprès desquels un guichet « devra être accessible au public.

« Art. 4. Toutes les transmissions, quelles qu'elles soient, seront ins- « crites, aux stations de départ et d'arrivée, sur des registres spéciaux « où elles figureront avec numéro d'ordre et par date. Ces registres « pourront être examinés et contrôlés par les fonctionnaires désignés à « cet effet par le gouvernement.

« Art. 5. La compagnie transportera gratuitement dans ses convois, « aux mêmes conditions et avec les mêmes formalités que sur les che- « mins de fer de l'État, les fonctionnaires, les télégraphistes et les ou- « vriers qui lui seront désignés, par l'administration, comme devant « concourir à la surveillance et à l'entretien de la ligne télégraphique, « ainsi que les matériaux destinés à cet entretien et à l'extension du « service.

« L'entretien de la ligne télégraphique et de son matériel se fera « comme sur les lignes des chemins de fer de l'État, c'est-à-dire par « les agents spéciaux des télégraphes, pour les réparations importantes, « et, par les agents de la compagnie, pour la surveillance et l'entretien « journalier, d'après les instructions de l'administration.

« Art. 6. La compagnie fera connaître à l'administration les stations « où elle juge utile d'établir un ou plusieurs appareils télégraphiques. « Le ministre des travaux publics désignera celles de ces stations où les « correspondances du public seront admises. Ces bureaux ne seront « ouverts obligatoirement que pendant les heures du service limité. (De « 9 heures à midi et de 2 à 7 heures du soir.)

« Toutefois, lorsque ces bureaux se trouveront, de fait, en correspon-

« dance pour le service du chemin de fer, en dehors des heures limitées, « ils accepteront les télégrammes privés qui leur seraient présentés.

« Art. 7. Le gouvernement allouera à la compagnie une indemnité de « 50 centimes pour tout télégramme à destination des bureaux men- « tionnés à l'article précédent, à charge par elle de le faire remettre à « domicile, dans la localité même et dans les localités voisines comprises « dans un rayon de deux kilomètres.

« Les frais de port à domicile en dehors de ces limites seront rem- « boursés à la compagnie, en sus des 50 centimes, conformément au « règlement des lignes télégraphiques de l'État.

« Art. 8. Les agents de la compagnie, agréés par l'État pour le ser- « vice des correspondances privées, recevront, comme indemnité, trente « centimes par télégramme expédié ou reçu.

« La compagnie sera tenue de faire observer, par ses agents, les « règlements de l'État sur l'entretien du matériel, les moyens de cor- « respondance, la télégraphie privée et administrative, notamment en « ce qui concerne le secret des correspondances et la perception des « taxes.

« Art. 9. Les règlements, tarifs et imprimés nécessaires au service des « télégrammes privés seront fournis par le gouvernement.

« La vérification et le versement des recettes perçues pour le compte « de l'État auront lieu d'après les instructions de l'administration.

« L'ordre de priorité des dépêches, sur les fils de la compagnie, sera « réglé comme suit :

« 1° Dépêches de service urgentes, intéressant directement la sûreté « de la circulation;

« 2° Dépêches d'État;

« 3° Dépêches de service ordinaires;

« 4° Télégrammes privés.

« Art. 10. L'administration n'assumera aucune responsabilité envers « la compagnie, du chef de son intervention dans l'entretien de la ligne « télégraphique et dans la transmission des dépêches de service de la « compagnie, conformément aux art. 2, 3 et 5 qui précèdent.

« De même, la compagnie n'assumera aucune responsabilité envers « le public, du chef de la télégraphie privée, et ne sera point tenue au « remboursement des taxes, en cas d'erreurs, d'omissions ou de retards « attribués à ses agents. »

Certains chemins de fer concédés de peu d'étendue n'ont qu'un seul fil télégraphique qui suffit au double service de l'exploitation et des correspondances privées. Ce fil est établi, ainsi que les appareils, aux frais de l'État, mais il est desservi par les agents des chemins de fer aux conditions ci-dessus. Seulement, là où les appareils sont fournis par lui, le gouvernement ne supporte pas les frais du port à domicile.

L'allocation de 30 centimes par télégramme accordée aux agents des

compagnies semble minime au premier abord; mais il ne faut pas oublier que la taxe perçue ordinairement pour le compte du gouvernement ne dépasse guère un franc par dépêche. Il peut arriver ainsi qu'un télégramme originaire d'un bureau desservi par un agent de chemin de fer concédé et à destination d'un bureau semblable, donne lieu à une allocation de 30 centimes au départ, 30 centimes à l'arrivée, plus les 50 centimes de port à domicile, c'est-à-dire que les frais spéciaux soient supérieurs au produit. Ces conditions, jointes aux appareils fournis par le gouvernement, seraient plutôt onéreuses, si le nombre de correspondances n'était pas aussi restreint et s'il ne s'agissait pas surtout d'exempter le gouvernement de rétribuer des commis spéciaux, là où le personnel des chemins de fer suffit à satisfaire le public. Celui-ci y trouve l'avantage de ne pas payer de taxe supplémentaire au profit des compagnies. Moyennant une dépense, peu considérable en somme, imposée au budget, tous les bureaux télégraphiques ouverts au public fonctionnent pour le compte de l'État et l'uniformité du tarif est maintenue.

Je bornerai là les renseignements que je me suis proposé de fournir à la Société des ingénieurs civils. Je me suis occupé surtout d'une des branches de la télégraphie : les rapports avec les chemins de fer, qui me semblent de nature à intéresser un plus grand nombre de membres de la société. Dans cette spécialité même, je me suis contenté de citer ce qui se fait en Belgique. Si j'avais pu, dépassant ces limites, étendre aux applications étrangères un mémoire déjà trop long, j'aurais été heureux de citer les travaux de notre collègue M. Breguet, dont le nom, intimement lié aux débuts de la télégraphie française, rappelle à tous les électriciens, des progrès importants et d'heureuses applications.

Bruxelles, mars 1864.

ANNEXE N° 1.

CONDITIONS DE FOURNITURE DU FIL DE FER DESTINÉ AUX LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

Le fil sera livré en pièces d'une longueur de 200 mètres au moins, sans aucune soudure. Les extrémités devront être aussi bonnes que le milieu. Chaque pièce devra former un rouleau séparé qui aura 60 centimètres de diamètre intérieur, et sera maintenue par trois liens en fer galvanisé, dont le poids total ne pourra excéder 20 grammes. Le bout extérieur du fil sera indiqué par un crochet.

Le fer sera de première qualité, exempt de paille et de tout défaut; la surface sera bien galvanisée au zinc pur, de manière à ne présenter ni taches, ni gerçures, ni gouttelettes.

Une longueur de 10 mètres de fil n° 11 devra peser au moins 550 grammes, et au plus 650 grammes. La même longueur de fil n° 8 devra peser au moins un kilogramme, et au plus 1100 grammes. Le diamètre ne pourra varier en dehors de ces limites.

Le fil devra être assez souple pour pouvoir être enroulé sur lui-même, sans rupture ni gerçure, et pour former des ligatures conformes aux échantillons.

Un morceau quelconque du fil n° 11, pris soit aux extrémités, soit au milieu du rouleau, devra supporter sans se rompre un poids de 400 kilog. Ce poids sera de 600 kilog. pour le fil n° 8.

Le fil ne sera accepté comme bien galvanisé que s'il peut supporter, sans que le fer soit mis à nu et sans rougir, même partiellement, quatre immersions successives, d'une minute chacune, dans une dissolution d'une partie de sulfate de cuivre dans cinq parties d'eau.

Avant les immersions, le fil aura été enroulé sur un cylindre d'un diamètre égal au sien.

Toute fourniture pourra être rebutée dans son entier si la vingtième partie du fil fourni ne satisfait pas aux conditions précédentes.

ANNEXE N° 2.

CONDITIONS DE FOURNITURE DES POTEAUX DESTINÉS AUX LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES.

Les poteaux destinés aux lignes télégraphiques sont classés par numéro, d'après les dimensions du tableau suivant :

NUMÉROS.	POTEAUX ÉCORCÉS.		POTEAUX NON ÉCORCÉS.	
	LONGUEUR.	CIRCONFÉRENCE.	LONGUEUR.	CIRCONFÉRENCE.
1	5m.50c	0m.42c	5m.70c	0m.50c
2	6 .50	0 .42	6 .70	0 .50
3	7 .50	0 .42	7 .70	0 .50
4	9 .00	0 .42	9 .20	0 .50
5	5 .50	0 .60	5 .70	0 .70
6	6 .50	0 .60	6 .70	0 .70
7	7 .50	0 .60	7 .70	0 .70
8	9 .00	0 .63	9 .20	0 .75
9	10 .50	0 .63	10 .70	0 .75
10	12 .00	0 .68	12 .20	0 .80

Il ne sera accordé aucune tolérance *en moins* sur ces dimensions. La circonférence sera mesurée à deux mètres du pied des poteaux.

Les poteaux seront en bois de pin, de sapin ou de mélèze du pays. Les bois devront être sains et de bonne qualité ; ils ne seront ni gélifs, ni roulés, ni échauffés, ni piqués. Ils seront tout à fait exempts de pourriture, de nœuds vicieux, de gerçures, de fentes ou d'autres défauts quelconques.

Les *pieds d'arbre* seront seuls acceptés, avec *culasse* suffisamment apparente pour qu'il n'y ait aucun doute. Chaque poteau devra être *parfaitement droit et rond*, depuis le sommet jusqu'à 1m,50 de la base.

Les poteaux seront transportés, déchargés et mis en tas à l'emplacement indiqué par l'Administration, le tout au frais de l'entrepreneur.

Ils seront fournis par livraisons successives, réglées par les commandes du service des télégraphes, d'après les besoins des chantiers de préparation.

Les avis d'adjudication feront connaître les délais d'exécution des commandes, le nombre maximum de poteaux à exiger par jour ou par semaine, et les tolérances en plus ou en moins sur les quantités commandées.

POTEAUX ÉCORCÉS.

Les poteaux à préparer à la créosote seront parfaitement écorcés et auront le sommet taillé en pointe, de forme conique, comme les poteaux placés en dernier lieu sur les lignes télégraphiques de l'État.

L'Administration pourra exiger de l'entrepreneur la preuve que la coupe des bois n'a pas eu lieu pendant la sève, et qu'ils ont été abattus *deux mois* au moins avant le jour de la fourniture.

Les dimensions indiquées au tableau ci-contre, pour les poteaux écorcés, ne pourront être dépassées au delà des tolérances suivantes, savoir :

15 centimètres en plus sur la longueur ;
8 centimètres en plus sur la circonférence.

POTEAUX NON ÉCORCÉS.

Les poteaux à préparer par l'injection du sulfate de cuivre seront livrés avec l'écorce bien intacte et *fraîchement abattus*.

L'Administration sera en droit de rebuter ceux qui auraient été abattus plus de

trois fois vingt-quatre heures avant leur déchargement à l'emplacement indiqué par l'Administration, ou ceux qui arriveraient avant le jour fixé par la commande.

Les poteaux dont les dimensions excéderont le minimum fixé au tableau ci-dessus seront admis sans limite de tolérance.

Ceux dont les dimensions seraient trop faibles pourront être admis dans les numéros inférieurs, si l'entrepreneur en fait la demande.

ANNEXE N° 3.

CONDITIONS DE PRÉPARATION DES POTEAUX AUX HUILES CRÉOSOTÉES.

La préparation consistera dans l'injection au moyen du vide et de la pression, de créosote brute préalablement élevée à la température de 50° centigrades.

La créosote brute sera le produit de la distillation du goudron de gaz. Elle sera de première qualité et conforme aux échantillons que l'entrepreneur aura déposés et présentés à l'agréation de l'ingénieur chargé de la surveillance des opérations.

L'entrepreneur sera tenu de faire connaître les usines d'où proviennent chacune des fournitures de créosote.

Les poteaux à préparer seront placés dans un cylindre en tôle ayant à l'une de ses extrémités une entrée munie d'un obturateur permettant de le fermer hermétiquement.

Ce cylindre sera muni :

D'un indicateur de vide à colonne de mercure ;

D'un indicateur de vide à cadran ;

De deux manomètres à pression ;

D'une soupape à levier ;

Des tubulures nécessaires pour introduire ou retirer le liquide et produire le vide ou la pression.

La créosote à mettre en œuvre sera placée sous le cylindre dans un réservoir dont les dimensions seront en rapport avec celles du cylindre.

Ce réservoir devra contenir la créosote nécessaire aux opérations d'une journée.

La surface horizontale sera telle que la diminution du liquide résultant d'une préparation corresponde à une tranche de cinq centimètres au moins.

Ce réservoir sera muni :

D'un serpentin à vapeur permettant d'élever rapidement la température du liquide ;

D'un thermomètre centigrade ;

D'un flotteur à échelle graduée en centimètres et millimètres.

Après avoir fermé le cylindre rempli de bois, on y fera le vide au moyen de la machine pneumatique, de telle sorte que l'indicateur du vide n'indique pas une pression de plus de vingt à vingt-cinq centimètres de mercure.

Ce vide sera maintenu pendant une heure ; puis on laissera entrer la créosote par l'effet de la pression atmosphérique d'abord, et au moyen de la pompe foulante ensuite, jusqu'à ce que le cylindre soit parfaitement rempli. Ces pompes con-

tinueront à fonctionner de manière à maintenir à l'intérieur du cylindre une pression de sept à huit atmosphères jusqu'à ce que l'absorption ci-dessus indiquée soit complète.

La section du tuyau d'entrée de la créosote dans le cylindre et les dimensions des pompes foulantes seront déterminées de façon à assurer le remplissage du cylindre en moins de quinze minutes.

Les pompes foulantes, de même que la machine pneumatique, seront activées par une machine à vapeur.

L'ingénieur pourra, s'il le juge utile au succès de la préparation, faire diminuer le degré et la durée du vide, la température de la créosote et la pression dans le cylindre.

L'imprégnation se fera à raison de 125 litres par mètre cube de bois à préparer. L'absorption sera constatée par le flotteur, qui devra accuser dans le réservoir une diminution de liquide supposée ramenée à la température du point de départ correspondant à autant de fois 125 litres augmentés de douze pour cent qu'il y aura de mètres cubes dans le cylindre.

L'Administration prendra et prescrira à l'entrepreneur telles mesures qu'elle jugera convenir pour contrôler la quantité de créosote introduite dans les poteaux.

ANNEXE N° 4.

ANCIENNES FOURNITURES DE POTEAUX INJECTÉS DE SULFATE DE CUIVRE A L'ENTREPRISE. CONDITIONS DE PRÉPARATION.

Les poteaux seront pénétrés de sulfate de cuivre de première qualité, dissous dans la proportion de *un kilogramme cinq cents grammes par hectolitre d'eau.*

L'Administration fera surveiller les opérations et s'assurera de la complète imprégnation des bois : 1° par la vérification à l'aréomètre du titre de la liqueur rendue par le bois ; 2° par des pesées faites avant et après l'opération, l'augmentation de poids donnée par l'absorption du liquide conservateur devant être au moins d'un dixième du poids du poteau soumis à la préparation ; 3° au moyen de réactifs chimiques qui permettent de reconnaître la présence du sulfate de cuivre dans la masse du bois.

Les poteaux qui, après une première épreuve, accuseraient une imprégnation incomplète, seront immédiatement soumis à une nouvelle épreuve. Le soumissionnaire s'engage à prendre toutes les mesures et les précautions que l'Administration lui prescrira pour en assurer le succès.

NOTE

SUR

LES MACHINES-LOCOMOTIVES

A AVANT-TRAIN MOBILE

pour fortes rampes et courbes à petits rayons

DU SYSTÈME WAESSEN[1].

Ces machines ont été construites à l'usine de Saint-Léonard (Liége), pour le chemin d'*Alar del Rey à Santander*, d'après un programme inséré dans le marché du constructeur, et qui était le suivant pour les machines à marchandises : « Remorquer 200 tonnes en plus du poids de la machine, sur rampes de 20 millim. par mètre à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure, et dans des courbes de moins de 300 mètres de rayon.

Ce programme ne peut être mieux justifié qu'en donnant quelques détails sur le tracé de la ligne que les machines desservent.

Le chemin d'*Alar del Rey à Santander* a une longueur de 139 kilomètres; il rachète entre les points extrêmes une différence de niveau de 849^{m},530, et il y a entre le point culminant de la ligne (à 40 kilomètres d'*Alar del Rey*) et la gare de *Santander* une différence de cote de 980^{m},732, de sorte que la rampe moyenne du premier versant est d'environ 10 millimètres et celle du second de 3 millimètres.

Ces 139 kilomètres se décomposent ainsi :

13 kilomètres en palier.

77 kilomètres en rampes de 0 à 10 millim. par mètre.

49 kilomètres en rampes de 10 à 20 millim. par mètre.

La longueur en rampes de plus de 15 millim. forme à peu près le quart de la longueur totale.

La section de *Barcena* à *Reinosa*, qui n'est pas encore livrée à l'exploi-

1. Cette note, lue dans la séance du 1er juillet, par M. E. Marché, est le résumé des renseignements renfermés dans deux communications adressées simultanément, à la Société, sur le même sujet, par MM. Lopez Bustamente et L. Rey, membres de la Société; à ces renseignements ont été joints les résultats des expériences faites par les ingénieurs du chemin d'*Alar del Rey* à *Santander*, sur les machines-locomotives en service sur cette ligne.

tation, sera la partie la plus accidentée du chemin. Elle aura en effet une longueur de 34 kilomètres, et réunira deux points qui ne sont distants, à vol d'oiseau, que de 16,000 mètres, et dont la différence de niveau est de 559 mètres. Du kilomètre 68 au kilomètre 83, la différence de cote est de 252 millim., la distance réelle n'étant que de 1900 mètres, soit une pente naturelle de 132 millim., ramenée à 17 millim. par le développement de 15,000 mètres donné à la ligne entre ces deux points, et qui a exigé de nombreuses courbes de 300, 350 et 400 mètres de rayon. Sur ces 15 kilomètres, il n'y aura que 9700 mètres en alignement droit.

Le problème était donc de construire des machines puissantes dont le passage dans les courbes de faible rayon soit facilité par une disposition spéciale. M. Waessen l'a résolu en construisant des machines que caractérise l'emploi d'un avant-train mobile placé sous la boîte à fumée; cet avant-train mobile diffère essentiellement du système américain par la propriété qu'il possède, non-seulement de se mouvoir autour d'un axe vertical pour se placer suivant le rayon de la courbe, mais encore de se déplacer latéralement par rapport à l'axe de la chaudière d'une quantité variable.

Il se compose d'un châssis porté par deux essieux, par l'intermédiaire de deux leviers latéraux et de ressorts de suspension. Le centre de ce châssis reçoit dans un logement sphérique un pivot de même forme fixé à un levier horizontal placé longitudinalement sous la machine et articulé en arrière du train mobile en un point fixe de la chaudière. Ce levier supporte à son extrémité la boîte à fumée par l'intermédiaire de deux doubles plans inclinés sur lesquels reposent deux coins en acier fondu fixés au-dessous de la boîte à fumée. Le pivot reçoit donc, par l'intermédiaire du levier, une pression égale à la somme de celles exercées au point d'articulation et sur les plans inclinés.

On conçoit que, lorsque la machine est dans une partie de la voie en alignement droit, le levier est dirigé suivant l'axe de la chaudière, les taquets reposent au fond des doubles plans inclinés, et les essieux sont parallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe de la voie. Mais, dès que le système arrive dans une courbe, la pression transversale exercée par le rail extérieur sur les boudins des roues de l'avant-train tend à le déplacer, en lui faisant décrire : 1° Un mouvement de rotation autour du pivot qui amène les deux essieux dans une direction parallèle au rayon de la courbe passant par le centre du train; 2° un autre mouvement de rotation autour du point d'articulation du levier, mouvement qui ramène le centre du train dans l'axe de la voie dont il tendrait à s'éloigner d'une quantité d'autant plus grande que le rayon de la courbe serait plus petit. Ce mouvement du pivot a lieu grâce à ce que les taquets se déplacent par rapport aux plans inclinés sur lesquels ils glissent en abaissant l'extrémité du levier, et par conséquent le châssis du train mobile.

Dans une courbe de 300 mètres de rayon, le centre du train mobile se

déplacerait de 0m,023, et les plans inclinés de 0m,030. Dans ce cas, l'inclinaison des plans inclinés étant de 1/10, l'extrémité du levier s'abaisserait de 0m,003.

Dans une courbe de 100 mètres de rayon, ces déplacements deviendraient respectivement 0m,0685, 0m,091, 0m,009.

Le déplacement des taquets sur les plans inclinés n'a lieu que si l'effort latéral des rails sur les boudins des roues a une intensité suffisante pour vaincre : 1° le frottement produit sur les plans inclinés par la portion du poids de la machine que les taquets transmettent; 2° la composante horizontale du même poids due à l'inclinaison (1/10 de la pression).

Ainsi, le poids sur les essieux du train mobile est de 9 tonnes, soit environ 6000 kilog. sur le pivot (l'avant-train, châssis, ressorts et roues pesant environ 3000 kilog.).

D'après les rapports établis entre les dimensions du levier, la pression de 6000 kilog. est la résultante de deux pressions, l'une de 1500 kilog. au point d'articulation, l'autre de 4500 sur les taquets.

La valeur de l'effort latéral nécessaire pour amener le déplacement sera de :

$$4500 \text{ kilog. } (f + 0{,}10),$$

f étant le coefficient du frottement acier sur acier. Si on suppose $f = 0.18$, on aura :

$$4500 \text{ kilog.} \times 0.28 = 1260 \text{ kilog.}$$

Un effort vertical exercé de bas en haut tendrait à soulever l'avant de la machine; ce soulèvement n'a pas lieu, c'est le levier, le pivot et le châssis du train mobile qui s'abaissent en augmentant la pression des ressorts de suspension. Cet excès de tension ramène le train mobile dans la position normale dès que la machine quitte la courbe.

La *machine à marchandises* présente les particularités suivantes :

Tout le mécanisme est extérieur et les cylindres sont inclinés.

La suspension est faite par l'intermédiaire de balanciers latéraux qui font participer plusieurs essieux aux variations accidentelles de la pression que chacune des roues peut avoir à subir pendant la marche. L'attelage est effectué au moyen de ressorts Brown, le foyer est du système Belpaire, et permet de brûler les menus. Les soutes à eau et à charbon sont placées latéralement à la chaudière et au-dessus des roues accouplées de telle sorte que le poids des approvisionnements est utilisé pour l'adhérence. L'alimentation a lieu au moyen d'une pompe et d'un injecteur Giffard, placés sur l'une des faces latérales de la boîte à feu. Enfin, un frein puissant agit sur les roues d'arrière de la machine.

Les données principales sont les suivantes :

La surface de chauffe totale est de 138m²,56, dont 129m²,36 pour les tubes, et 9m²,20 pour le foyer. La pression effective est de 8 atmosphères, le diamètre des cylindres 0m,460, la course 0m,61, et le diamètre au contact des roues motrices 1m,200.

La surface des deux pistons est donc de 3322^{cq}; l'effort de traction théorique par atmosphère effective est de :

$$1^{kg},03 \times 3322 \times \frac{0.610}{\pi \times 0.600} = 1108 \text{ kilog.}$$

L'effort de traction, en admettant un coefficient de rendement de 0.60, sera au maximum de 5318 kil.

Le poids total de la machine vide est de 36,000 kil.; pleine, de 45,000, dont 36,000 reposent sur les essieux moteurs; l'adhérence étant utilisée au 1/6, on pourrait exercer un effort de 6,000 kil.

Diamètre moyen du corps cylindrique	1^{m} ,300
Longueur intérieure de la boîte à feu	2 ,400
Largeur intérieure de la boîte à feu	1 ,110
Longueur de la grille	2 ,400
Largeur de la grille	1 ,110
Hauteur du dessus de la grille au-dessus du ciel du foyer : avant	1 ,350
Hauteur du dessus de la grille au-dessus du ciel du foyer : arrière	1 ,050
Surface de grille	2^{m2},660
Diamètre intérieur des tubes	0^{m} ,050
Longueur intérieure des tubes	4 ,120
Nombre de tubes	200
Diamètre des roues de l'avant-train	0^{m} ,800
Écartement d'axe en axe des essieux couplés	1 ,300
— — du truck	1 ,200
— — extrêmes	5 ,600
Porte-à-faux d'avant	1 ,500
Porte-à-faux d'arrière	3 ,540
Approvisionnement d'eau	4000^{kg}
— de combustible	1500
Poids de la chaudière et de ses accessoires	11630
— — par mètre carré de surface de chauffe	84
Poids de la machine par mètre carré de surface de chauffe	325

Les *machines à voyageurs* sont à deux essieux couplés avec roues motrices de 1^{m},680 de diamètre. Les soutes à eau et à charbon placées latéralement à la chaudière se prolongent jusqu'à la boîte à fumée. Le train mobile est semblable à celui des machines à marchandises, mais le point d'articulation du levier horizontal est placé en avant du truck.

Dans une courbe de 300 mètres de rayon, le déplacement du pivot est 0^{m},022, et celui des taquets 0^{m},025. Ces deux chiffres s'élèvent à 0^{m},065, et 0^{m},075 pour une courbe de 100 mètres de rayon.

Les données principales sont :

Surface de chauffe.	Foyer. .	9^{m2},80	117^{m2},25.
—	Tubes. .	107 ,45	

Le diamètre des cylindres, la course et le timbre de la chaudière sont les mêmes que pour les machines à marchandises Le diamètre des roues motrices est de $1^m,680$. L'effort de traction théorique par atmosphère effective est alors :

$$1.03 \times 3322 \times \frac{0,610}{\pi \times 0.840} = 794 \text{ kil.}$$

L'effort de traction, en admettant une valeur de $K = 0.6$, peut donc être de 3800 kil.

Le poids total de la machine vide est de $35^t,5$, et pleine de 45 tonnes, Le poids sur les deux essieux moteurs est de 28 tonnes. Avec l'adhérence au 1/6, on pourrait exercer un effort de 4670 kil.

Surface de la grille.	$2^{m2},550$
Diamètre extérieur des tubes	$0^m,050$
Longueur extérieure des tubes.	3, 420
Nombre de tubes.	200
Diamètre des roues de l'avant-train.	$0^m,900$
Écartement d'axe en axe des essieux couplés. . .	1 ,300
— — — du truck. .	1 ,400
— — — extrêmes. .	5 ,600
Porte-à-faux d'avant.	1 ,450
— d'arrière	2 ,150
Approvisionnement d'eau.	4500^{kg}
— de combustible.	1500

Pour compléter cette note, il reste à faire connaître les résultats d'une série d'essais qui ont été faits pour les machines à voyageurs, sur la portion de la ligne comprise entre *Las Corrales* et *Barcena*.

Cette section a une longueur de 16 kilomètres, et est formée de :

1° $6^{kilm},8$ en rampes de 10^{mm}, et 1 kilom. en palier, de Las Corrales à Las Fraguas;

2° $2^{kilm},9$ en rampes de $12.5^{mm},11$, et 19^{mm}, de Las Fraguas à Santa Cruz;

3° $2^{kilm},1$ en rampes de 19^{mm}, et de 15^{mm}, de Santa Cruz à Portolin;

4° $3^{kilm},2$ en rampes de 15^{mm}, et de 20^{mm}, de Portolin à Barcena.

Un tiers du parcours environ est en courbe de 275 mèt. et de 300 mèt. de rayon.

La résistance par tonne remorquée sur chacune des parties de cette section pour laquelle on a fait des observations séparées s'établit de la manière suivante :

En admettant (la vitesse étant comprise entre 20 et 30 kilomètres) que la résistance par tonne de train est, de niveau, de 5 kilog., et que celle due à une courbe de 275 mètres de rayon est de 4 kilog., on trouve :

1° De *Corrales* à *Fraguas*. Longueur, 7800 mèt.; rampe moyenne, $0^m,0087$; courbes sur 4 kilom.; résistance par tonne, 16 kilog.;

2° De *Fraguas* à *Santa Cruz*. Longueur, 2900 mètres; rampe moyenne, 0m,0131; résistance 18 kilog.;

3° De *Santa Cruz* à *Portolin*. Longueur, 2100 mètres; rampe moyenne, 0m,0167; résistance par tonne, 21 kilog.7;

4° De *Portolin* à *Barcena*. Longueur, 3200 mètres; rampe moyenne, 0m,017; courbes de 275 mètres; résistance par tonne, 26 kilog.

La résistance moyenne de *Corrales* à *Barcena* serait de 22 kilog. La résistance maxima se produit entre *Portolin* et *Barcena* sur une rampe de 0m,020, en courbe de 275 mètres; elle atteint alors :

$$5^{kg} + 20 + 4 = 29^{kg} \text{ par tonne.}$$

Pour le calcul de résistance de la machine, on peut admettre un excès de résistance de 3 kilog. par tonne de machine.

Première expérienee. — Un train formé de 6 voitures, 2 fourgons et 4 wagons chargés, pesant ensemble 110 tonnes, a parcouru à la vitesse moyenne de 30 kilomètres à l'heure, la section de *Corrales* à *Fraguas*. La vitesse a été par instants de 40 kilomètres. Les rails étaient secs. Le train marchant du nord au sud avait à vaincre la résistance d'un vent du sud fort, agissant de front et parfois latéralement. La pression dans la chaudière était de 5 atmosphères effectives.

La résistance du train, dans ces conditions, fut en moyenne (en ajoutant 1 kilog. par tonne pour tenir compte de l'action du vent) :

$$110^{t} \times 17^{kg} + 45^{t} \times 20 = 2770^{kg}.$$

L'effort de traction théorique était de :

$$791^{kg} \times 7.5 = 5932.5.$$

La valeur du rapport K d'utilisation était donc :

$$K = \frac{2770}{5932.5} = 0.47.$$

L'adhérence était utilisée au 1/10. Enfin, la vitesse étant de 30 kilom. à l'heure, soit 8m,33 par seconde, le travail développé par seconde a été moyennement de $2770 \times 8.33 = 23080$ kilom., soit 308 chevaux.

Deuxième expérience. — Le même train devait continuer l'ascension de *Barcena*, mais le vent étant très-impétueux et la résistance croissant au delà de *Fraguas*, on détacha les 4 wagons chargés, et on ne remorqua de *Fraguas* à *Barcena* que 50 tonnes.

On observa les vitesses suivantes :

1° De Fraguas à Santa Cruz.	32k,523
2° De Santa Cruz à Portolin.	32 ,868
3° De Portolin à Barcena..	33 ,516

En évaluant pendant ce trajet à 1kg,5 par tonne, l'action du vent, on trouve que dans chacune de ces trois périodes, l'effort de traction était :

De Fraguas à Santa Cruz.	1986^{kg}
De Santa Cruz à Portolin.	2339
De Portolin à Barcena	2748
Et en moyenne.	2386

La vitesse moyenne ayant été de $9^{m},16$ par seconde ($32^{kg},97$ par heure), le travail développé a été en moyenne de 291 chevaux.

Enfin, l'effort de traction maximum a été de :

$$50 \times 30^{k},5 + 45 \times 33.5 = 3032^{kg}. \text{ Valeur de } K = 0.51.$$

Troisième expérience. — Le même train, au retour, c'est-à-dire à la descente a circulé aux vitesses suivantes :

Barcena à Portolin, 34 kilom. Portolin à Santa Cruz, 45 kilom. Santa Cruz à Fraguas, 40 kilom. Fraguas à Corrales, 45 kilom. En moyenne, $41^{klm},9$.

Quatrième expérience. — Cette observation a porté sur la marche d'un train formé de 10 wagons chargés, 3 wagons vides et 1 fourgon, pesant ensemble 155 tonnes, avec un vent sud très-fort, agissant de front, de Fraguas à Barcena.

« La machine patina à la sortie des aiguilles de Fraguas (rampe de $12^{mm},5$); elle patina de nouveau près de Santa Cruz, sur la rampe de 19 mil. en alignement droit; elle s'arrêta un peu, mais se remit en marche sur la même rampe, et continua jusqu'à Portolin, où elle s'arrêta sur les courbes de 279 mètres et 275 mètres de rayon. Elle ne put continuer; on coupa le train, et la machine arriva avec 6 wagons (84 tonnes) à Barcena, avec une vitesse de 30 kilomètres.

« La vitesse moyenne ne fut que de 10 à 12 kilomètres.

« L'eau du tender et des cylindres mouillait les rails. »

Dans la partie de la ligne où la machine patina et s'arrêta la première fois (rampe de 19 mill. en alignement droit), la résistance était de :

$$155 \times 25 + 45 \times 28 = 5135 \text{ kilog.}$$

Le poids utilisé pour l'adhérence (28000 kilog.) ne représente que cinq fois et demie cet effort de traction, ce qui explique le patinage.

Il est assez naturel d'admettre que lors du second arrêt qui se produisit (en rampe de 15 mill. et en courbe de 275 mèt.), la machine se trouvait dans des conditions analogues, c'est-à-dire que la résistance était d'environ 5100 kilog.; il en résulte que l'excès de la résistance due à une courbe de 275 mètres de rayon serait égal à la résistance sur une rampe de $19^{mm} - 15^{mm} = 4^{mm}$, soit 4 kilog. par tonne.

Les ingénieurs du chemin de Santander admettent, du reste, que dans de bonnes conditions de temps, ces machines peuvent remorquer sur rampe de 20 mill. 120 tonnes, à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure. Ce qui représente un effort de traction de 4260 kilog., et un travail développé de 315 chevaux.

Quant aux machines à marchandises, des observations ont été faites sur le même trajet, de Fraguas à Barcena. Elles ont donné les résultats ci-dessous :

1° Train de 152 tonnes; vitesse (sans arrêts aux stations) $23^{klm},55$; pression dans la chaudière, $7^{atm},5$; vent doux, rails secs;

2° Train de 162 tonnes; vitesse, 19 kilom.; pression, 8 atmosphères;

3° Train de 192 tonnes; vitesse, 16 à 17 kilom.

Le tableau ci-contre résume les résultats de toutes ces expériences; on y a indiqué le rapport du travail fourni au poids de la machine, approvisionnements compris; soit le nombre de chevaux correspondant à chaque tonne de machine et le poids de machine correspondant à chaque force d'un cheval fournie.

On peut conclure de ce tableau que le travail fourni moyennement est de 300 à 310 chevaux, soit environ 7 chevaux par tonne, et que le poids des machines est de 140 à 150 kilog. par force de cheval.

Les machines à marchandises sont d'ailleurs en service sur la ligne de Santander depuis plusieurs années, et elles ont fait l'objet d'un intéressant rapport de M. de la Vega, ingénieur en chef du chemin *Isabelle II*, dans lequel il est constaté que ces machines ont une très-grande stabilité; que le jeu de l'avant-train mobile ne laisse rien à désirer, et que la douceur des mouvements permet le passage à la vitesse ordinaire, dans des courbes de 200 mètres.

Du 10 juin 1861 à la fin de 1862, 8 de ces machines ont parcouru 197356 kilomètres, et satisfait à un trafic de 43000000 de tonnes kilométriques, en consommant 3069136 kilog. de charbon, soit $15^{k},5$ par kilomètre parcouru (y compris les stationnements, l'allumage, etc.). Depuis l'établissement des primes, cette consommation a été réduite à 14 kil.

Machines à voyageurs.

DÉSIGNATION	PARCOURS.	EFFORT de TRACTION.	VITESSE		TRAVAIL		RAPPORT	
			en kilomètre par heure.	en mètres par seconde.	en kilogrammes.	en chevaux.	du travail au poids de la machine.	du poids de la machine au travail.
Train de 110 tonnes.....	7800m	2770k	30k.»	8m.33	23074	308ch	6ch.8	146kg
Train de 50 tonnes.....	2900	1986	32.5	9 .04	17953	239	5 .3	188
Id. 50 —	2100	2339	32.9	9 .13	21355	285	6 .3	158
Id. 50 —	3200	2746	33.5	9 .31	25894	343	7 .6	131
Moyenne. Train de 50 tonnes.....	8200	2386	32.9	9 .16	21856	291	6 .5	155
Moyenne générale.....	16000	2573	31.45	8 .74	22488	300	6 .7	150
Évaluation des ingénieurs.....	»	4260	20.»	5 .56	23670	315	7 .»	143

Effort de traction par m.² de surface de chauffe... 22 à 36k | Travail produit par m.² de surface de chauffe... 2ch,5
Id. id. de grille... 102 à 165 | Id. id. de grille... 118

Machines à marchandises.

Train de 152 tonnes.....	8200	4464	23.55	6 .54	24105	321	7 .1	140 »
Id. 162 —	8200	4589	19. »	5 .28	24230	323	7 .2	139 »
Id. 192 —	8200	5349 .	16.5	4 .44	23730	316	7 .0	142 »
Moyenne.....	8200	4800	19.65	5 .42	24020	320	7 .1	140.5

Effort de traction par m.² de surface de chauffe... 34k.6 | Travail produit par m.² de surface de chauffe... 2ch,3
Id. id. de grille... 180 | Id. id. de grille... 120

ÉTUDE

SUR

L'USURE ET LE RENOUVELLEMENT DES RAILS

PAR M. EUGÈNE FLACHAT.

Nous reconnaissons sans peine le défaut de précision dans les conclusions de notre étude sur l'usure des rails.

Conclure, dès à-présent, dans une question aussi ardue, envisagée d'une manière si différente par les ingénieurs qui en font l'unique objet de leurs préoccupations, m'a paru bien difficile.

J'ai indiqué l'accroissement des dimensions du rail comme une nécessité, parce que sa flexion entre les points d'appui est constatée, même sous les roues des voitures de voyageurs et des wagons de marchandises. J'ai indiqué l'accroissement de largeur de la table de roulement comme un moyen d'empêcher le creusement des bandages. Enfin, j'ai proposé l'emploi de rails en fer très-dur et très-résistant comme un moyen d'en empêcher la destruction par toute autre cause que l'usure simple résultant de l'écrasement de la matière au point de contact du bandage avec le rail.

Je reconnais que, sur ce dernier point, je n'ai pas été précis, en ce sens que je n'ai pas indiqué le moyen d'obtenir un pareil rail.

Ce moyen, M. N..... le trouve dans une simple *amélioration* du rail actuel. La question est ainsi portée sur son véritable terrain. Est-ce par une simple *amélioration* du fer composant le rail actuel? est-ce par la *transformation* de ce fer qu'il faut procéder?

Les moyens d'amélioration du rail actuel sont de plusieurs natures. Il faudrait modifier la qualité de la fonte, ou son affinage, ou le traitement mécanique du fer. Examinons ces trois moyens, et pour ne pas perdre la voie de la discussion dans des généralités, partons des qualités du minerai et des conditions de production de la fonte dans les usines qui fabriquent les rails, telles que les forges du Nord, de la Moselle, le Creusot.

Ancy-le-Franc, Fourchambault, Terre-Noire, Bessège, Alais et Decazeville.

Ces usines produisent, avec un mélange des minerais qu'elles trouvent dans leur voisinage et des minerais qui leur sont apportés d'assez grandes distances, tous les fers de leur fabrication, depuis le meilleur qu'elles débitent en tôle, feuillards, ronds à la main et à guides, jusqu'au fer de la plus basse qualité, tels que fers à rail, à grille, etc.

L'amélioration du fer à rail consistera-t-elle à en produire la fonte avec le mélange qui sert à la production du meilleur fer? Non assurément; car cette fonte qui sert à la fabrication de la tôle et des échantillons de haute qualité, produit un fer qui n'a pas les qualités qu'il faut au rail. Ce fer, qu'il soit nerveux ou à grain, n'a ni la densité, ni la texture, ni l'homogénéité qui est l'indice de la compacité et de la dureté de la matière. Ce n'est donc pas là la voie d'une *amélioration*.

Est-elle dans le soin donné à l'affinage dans le four à puddler? Le raisonnement qui vient de nous servir, quant à la qualité de la fonte, s'applique également à cette question. Le fer puddlé par la méthode ordinaire, n'est, comme qualité, que ce que la fonte est elle-même, quand l'opération de l'affinage est faite avec soin.

Enfin, l'amélioration du fer à rail sera-t-elle obtenue par un traitement mécanique énergique, celui, par exemple, auquel sont soumis la tôle, le feuillard, et les espèces de fer de première qualité? Mais, nous l'avons dit, il suffit d'examiner la texture de ces fers pour y reconnaître l'absence des qualités exigées pour les rails.

Le traitement mécanique, considéré isolément, réduit la résistance du fer en barre, laminé en feuilles de tôle, de 43 kil. à 38 kil. par millimètre de section.

Nous ne voulons pas conclure de ce qui précède que le fer des rails ne puisse être *absolument* amélioré dans les usines qui le fabriquent aujourd'hui, par les méthodes ordinaires; nous reconnaîtrons volontiers que, par l'emploi exclusif du fer n° 2, par un martelage énergique exécuté après l'affinage et renouvelé après le premier et le second réchauffage, enfin en réduisant le passage au laminoir à un très-petit nombre de cannelures, on peut améliorer le rail actuel. On gagnera ainsi quelques années de durée; le renouvellement donnera moins de déchet; mais peut-on attendre d'une telle amélioration une durée double de celle des rails actuels? Nous ne l'espérons pas.

Nous n'avons donc pas conclu dans ce sens; nous ne pouvons admettre davantage que la dureté et l'homogénéité du fer doive provenir de l'impureté même de la fonte, c'est-à-dire, d'un excès de silicium ou de phosphore, comme cela a été longtemps prétendu par des fabricants dont l'intérêt était d'employer, à la fabrication des rails, les minerais de basse qualité dont ils disposent dans leur voisinage, et qu'ils obtiennent à bas prix.

En face de l'impuissance de ces deux méthodes, nous avions à considérer celle dont les progrès deviennent de plus en plus manifestes : nous voulons parler de l'emploi d'un fer obtenu à l'aide de l'affinage de la fonte et de la fusion du fer à une température très-élevée, énergique pour l'épuration, et dont le résultat est la production de lingots dont la texture atteste à la fois un grain très-fin, régulier, et un haut degré d'homogénéité. L'expérience constate la dureté et la ténacité du fer ainsi obtenu.

Ce fer est produit, couramment, par le procédé Bessemer, et l'appareil servant à cette fabrication, fonctionne en ce moment dans la plupart des établissements métallurgiques importants. Il y sert, il est vrai, à la production d'un fer ayant des qualités aciéreuses ; mais s'il ne réussit pas à faire avec toutes les fontes un métal susceptible de la trempe, il réussit toujours à faire, avec les minerais exempts de phosphore, une matière dont la dureté et la résistance à froid, la cohésion, l'homogénéité et l'élasticité conviennent éminemment à l'emploi en rails.

Or, il n'y a aucune raison pour que la fabrication de ce fer fondu en lingots soit plus coûteuse que celle du fer puddlé. Chaque jour d'expérience approche de ce résultat. Dès aujourd'hui, des parties de rails en métal affiné par le procédé Bessemer, puis martelé et laminé, sont obtenues en Angleterre à 375 fr. la tonne, à l'usine.

Le nouveau procédé semble applicable aux fontes non phosphoreuses qui produisent aujourd'hui les rails; il est plus énergique que le puddlage au four ordinaire et à bras, à la fois comme température et comme agitation tendante à l'homogénéité du mélange; il compensera peut-être en déchet de métal ce qu'il économisera en combustible; le lingot obtenu exigera sans aucun doute des marteaux plus puissants, des laminoirs susceptibles d'étirer un fer beaucoup plus dur. Sous ce rapport, les installations actuelles devront être remplacées, et il faudra d'importantes commandes pour couvrir ces nouvelles dépenses; mais, ce résultat une fois obtenu, on n'aperçoit, ni dans les consommations de matières, ni dans le travail de fabrication, une cause d'augmentation de prix du rail actuel. Loin de là, le procédé semble devoir être plus simple et plus rapide.

Si donc ce n'est pas aujourd'hui qu'il faut s'attendre à voir le rail en fer Bessemer descendre au prix du rail ordinaire, on conviendra que nulle raison ne semble s'opposer à ce qu'il en soit ainsi dans un avenir prochain.

Ce qui hâte la marche du progrès, c'est de bien constater les pas qu'il a faits, afin de repartir, à nouveau, du but qu'il a atteint. Or, ce qui est constaté aujourd'hui, c'est que l'opération qui consiste à corroyer le fer, c'est-à-dire à le laminer par bandes plates, à le couper pour le mettre en paquets, à le marteler et le laminer de nouveau, puis à recommencer deux fois et trois fois la même opération, est un procédé qui peut servir à compléter l'épuration du métal, mais non lui donner la texture, l'ho-

mogénéité et le grain qui sont particuliers aux fers durs et tenaces. Le marteau produit cet effet, le laminoir jamais. Le laminage donne au fer une texture d'autant plus fibreuse, ou nerveuse, suivant la qualité première, qu'il est plus répété et fait à de plus basses températures. Son action rend le fer moins pesant, plus *creux*, moins résistant, c'est-à-dire plus coulant à la chaleur soudante. Le fer laminé s'est, pour ces motifs, introduit très-lentement dans l'emploi par les forges à bras, dites maréchales.

Le pas que le procédé Bessemer a fait faire à la fabrication, à part l'expérience d'une méthode d'affinage nouvelle et plus efficace, c'est de montrer la supériorité de résistance du fer affiné *fondu* sur le fer affiné par le puddlage; c'est de montrer la valeur de l'action du marteau; de réduire l'utilité du laminoir à la simple mise dans la forme d'emploi; et de démontrer ainsi, non-seulement l'inutilité du corroyage, mais aussi l'inconvénient de soumettre le fer, à partir de sa fusion en lingots, à un travail à chaud exagéré. Il y a bien peu d'années encore, quand on voulait fabriquer un arbre en fer de 0,30 centimètres de diamètre, on mettait au four un paquet de petites bandes de fer laminé, ayant 1 mètre à 1m,20 carré de section. Aujourd'hui, on met au four un lingot fondu de 0m,50, et on obtient un fer plus résistant du double. Cette différence capitale dans la fabrication du fer ne vient-elle pas de deux causes : la première de ce que, dans le travail actuel du fer, la haute température, celle de fusion du fer lui-même, n'intervient jamais, puisque le fer n'est jamais fondu; la seconde de ce qu'il est travaillé par un instrument dont le mode d'action participe bien plus de l'étirage que d'une pression normale.

Le procédé Bessemer a ouvert une voie nouvelle : il a produit, avec la même fonte, des fers plus homogènes que le faisait la méthode actuelle d'affinage, plus résistants aussi; des fers exclusivement à grain, c'est-à-dire plus rapprochés de la texture de cristallisation qui est dans la nature même du métal, et qui ne se perd, sous l'influence du laminoir, qu'aux dépens de certaines qualités. On entend les ingénieurs les plus expérimentés dans l'emploi du fer, exprimer l'opinion que le meilleur fer est celui qui, dans le traitement, a conservé sa texture *grenue*, tandis qu'autrefois c'était le fer rendu *nerveux* par le traitement qui avait la préférence; et comme le nerf se donne par des passages répétés au laminoir, par des façons énergiques à basse température, le fer était étiré mais non pas comprimé; il était préféré pour des emplois à froid, parce que les fibres superficielles en contact avec le laminoir acquéraient par une sorte d'écrouissage, la propriété du fil de fer.

Le fer puddlé ordinaire n° 1, destiné à produire par le corroyage, les fers de qualité, étant soumis à la traction, présente une résistance très-faible; 15 à 18 kilog. par millimètre de section : converti par un seul corroyage, c'est-à-dire par un faible traitement mécanique, en fer de

gros échantillon, il ne résiste guère à un effort de traction de plus de 28 à 31 kilogr.; corroyé deux fois et laminé en ronds à la main et à basse température, il résiste à 37 et 42 kilog.; enfin, réduit par une façon de plus, dans les laminoirs à guides, à un diamètre de 4 à 5 millimètres, il résiste à 40 ou 45 kilog.; puis, passé à froid à la filière, et converti en fil de fer de 1 millimètre, il résiste à 80 kilog. par millimètre de section. Mais le fer aciéreux obtenu aujourd'hui, des mêmes fontes à fer, dans l'appareil Bessemer par la fusion à haute température, coulé en lingots, après un affinage qui donne au produit des qualités de densité et d'homogénéité particulières, présente déjà, sans façons aucunes, une résistance égale à celle du fil de fer, et le marteau élève ensuite cette résistance de 25 p. 100; sa densité est celle de l'acier, et, dans tous les cas, très-supérieure à celle du meilleur fer.

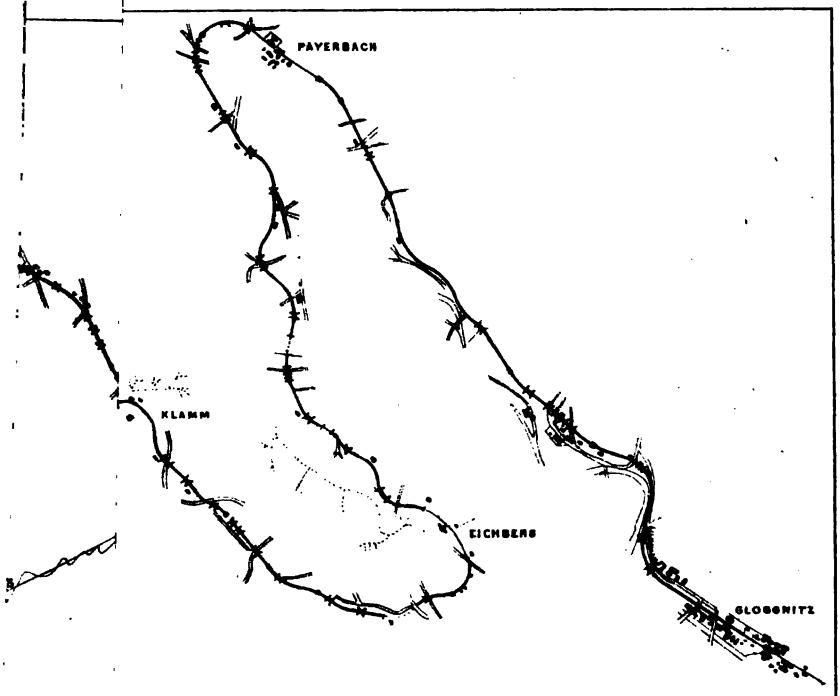
Il est à remarquer qu'en général la résistance est en proportion de la densité dans la fonte, le fer et l'acier.

L'opinion qui est exprimée ici ne nous est pas exclusivement personnelle; elle est partagée par des ingénieurs et des fabricants; elle se justifie chaque jour par l'importance des commandes en rails fabriqués au moyen du procédé Bessemer, et elle explique aussi pourquoi nous n'avons pas conclu aussi nettement qu'on eût pu l'attendre de nos prémisses.

Nous n'entendons pas en effet qu'il y ait lieu de laisser de côté les méthodes actuelles de fabrication des rails, et d'y substituer d'une manière générale la fabrication par le procédé Bessemer ou un procédé fondé sur les mêmes principes. Ce serait, dans l'état peu avancé de l'expérience à cet égard, une grave imprudence. Nous nous bornons à indiquer cette tendance.

Jusqu'à ce que l'expérience s'accomplisse, ou jusqu'à ce qu'un procédé nouveau ait substitué le traitement par la fusion du fer à haute température au traitement par l'élaboration mécanique à basse température, on tentera de simples améliorations. Ce sera la fabrication du rail en fer n° 2 exclusivement, ou bien l'emploi de minerais d'une qualité supérieure, etc. Mais ce n'est pas là une conclusion à recommander d'une manière définitive. Il faut atteindre, en fin de compte, le but qu'indique la nécessité d'accroître la vitesse, en restant, comme première condition, dans la limite de la dépense actuelle pour la marche des trains, l'entretien du matériel et celui de la voie.

Paris. — P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.



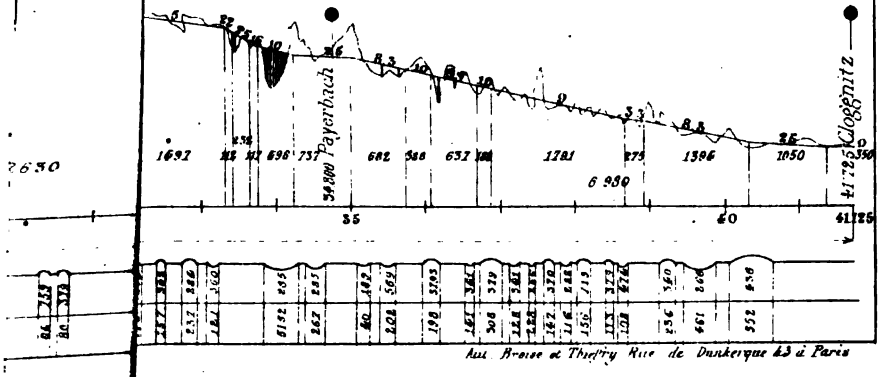
PROFIL EN LONG

des longueurs - 0,"010 par kilomètre .

3 4 5 6 7 8 9 kilomètres

des hauteurs - 0,"00025 par mètre

0 200 300 400 mètres



Aux Brioise et Thiefry Rue de Dunkerque 43 à Paris

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1864)

N° 27

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Fabrication et emploi des phosphates de chaux en Angleterre.* Analyse, par M. Tronquoy, de l'ouvrage de M. Ronna sur la. (Voir le résumé de la séance du 1er juillet 1864, page 313.)

2° *Machines locomotives à avant-train mobile pour fortes rampes, et courbes à petits rayons*, système Vaessen, par M. Marché. (Voir le résumé de la séance du 1er juillet 1864, page 316.)

3° *Régularisation du mouvement des machines à vapeur*, analyse par M. Marché, de l'ouvrage de M. Charbonnier sur la. (Voir le résumé de la séance du 1er juillet 1864, page 316.)

4° *Usure et renouvellement des rails.* (Voir le résumé des séances des 1er juillet et 5 août 1864, pages 319, 329 et 355.)

5° *Enseignement professionnel.* (Voir le résumé de la séance du 5 août 1864, pages 325 et 329.)

6° *Frottement de glissement.* (Voir le résumé de la séance du 5 août 1864, page 325.)

7° *Lavoir à charbon* de M. Forey. (Voir le résumé de la séance du 5 août 1864, pages 333 et 395.)

8° *Inauguration du chemin de fer du nord de l'Espagne* par M. Brüll. (Voir le résumé de la séance du 2 septembre 1864, page 338.)

9° *Utilisation des scories de forges*, procédé Minary et Soudry. (Voir le résumé de la séance du 2 septembre 1864, page 334.)

10° *Presse sterhydraulique* de MM. Desgoffe et Ollivier. (Voir le résumé de la séance du 2 septembre 1864, page 336.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Rohart, membre de la Société : 1° un exemplaire de ses *Annuaires des engrais et des amendements pour les années* 1860, 1861, 1862, 1863 et 1864 ; et un exemplaire de son *Guide de la fabrication économique des engrais*.

2° Un exemplaire du *Catalogue des instruments de M. Drier*.

3° De M. Jordan, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur les *Usines à gaz de Londres en* 1863.

4° De M. Gislain, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure intitulée : *Du fer et du charbon à Epinac-Autun*.

5° De M. Chuwab, membre de la Société, une note sur *un procédé d'expérimentation des rails*.

6° De M. Delonchant, membre de la Société, une note *sur la conservation des grains*.

7° De M. Ronna, ingénieur, un exemplaire de son ouvrage *sur la fabrication et l'emploi des phosphates de chaux en Angleterre*.

8° De M. Desbrière, une note *sur l'usure et le renouvellement des rails*.

9° De M. Paget, un exemplaire d'un travail intitulé : *Essai des chaînes-câbles*.

10° De M. Émile With, un exemplaire de son ouvrage sur *les inventeurs et leurs inventions*.

11° De MM. Noblet et Baudry, éditeurs, un exemplaire de l'ouvrage de M. Amédée Burat : *Minéralogie appliquée*, et un exemplaire du *Traité*

complet de Métallurgie, par M. le Dr J. Percy, traduit par MM. Petitgand et Ronna.

12° De M. Piquet, membre de la Société, de la part de M. Naranzo, un exemplaire de son *Traité élémentaire de minéralogie*, et un abrégé de ce même traité.

13° De M. Prou, ingénieur, un exemplaire d'une *Étude sur la détermination du rapport existant entre les sections dangereuses des semelles et des barres inclinées à 45 degrés d'une poutre à treillis.*

14° De M. Picard, ingénieur, un exemplaire d'une *Notice sur le procédé de MM. Minary et Soudry pour l'utilisation des scories de forges.*

15° De M. Poirée (Jules), ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire d'un Mémoire de M. le chevalier Quintino Sella *sur le frottement*, c'est-à-dire *sur la résistance qui se produit en faisant glisser un corps sur un autre.*

16° De M. Desbrière, membre de la Société, un exemplaire du *Bulletin du comité des forges.*

17° *Rapport de la neuvième assemblée générale de la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État.*

18° De M. Vidal, membre de la Société, un exemplaire d'une *Notice sur les méthodes graphiques usitées pour étudier le mouvement du tiroir dans les machines à vapeur fixes.*

19° Les nos de juillet, août et septembre des *Nouvelles annales de la construction.*

20° Les nos de juillet, août et septembre, du *Portefeuille économique des machines.*

21° Les nos de juillet, août et septembre, du *Génie industriel.*

22° Les nos de juillet, août et septembre, de la *Revue des Mondes.*

23° Les nos de juillet, août et septembre, de l'*Album pratique de l'art industriel.*

24° Les nos de juin, juillet et août, des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées.*

25° Les nos de juillet, août et septembre, du Journal *Le brevet d'invention.*

26° Le n° de la 2e livraison des *Annales des Mines.*

27° Les nos de juillet, août et septembre du Journal *The Enginer*.

28° Les nos de juillet, août et septembre, du bulletin de la *Presse scientifique des Deux-Mondes*.

29° Le n° de mai et juin de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*.

30° Les nos de novembre et décembre 1863, et janvier et février 1864, des *Annales des ponts et chaussées*.

31° Le n° de juillet et août des *Annales télégraphiques*.

32° De M. Guettier, membre de la Société, un exemplaire de sa publication sur *l'organisation de l'enseignement industriel*.

33° Les nos des *Annuaires de l'association des ingénieurs sortis de l'école de Liége*.

34° De M. Mazilier, membre de la Société, une note relative à la *discussion qui a eu lieu sur l'usure et le renouvellement des rails*.

35° De M. Vaessen, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur les *locomotives pour forts trains express avec train universel*.

36° De M. Armand, membre de la Société, une note sur un *pont en tôle, à poutres en treillis, construit sur le chemin de fer de Moscou*.

37° De M. Ganneron, membre de la Société, un exemplaire de son *travail sur l'Exposition nationale de Constantinople*.

38° De M. Masson, un exemplaire d'un *Album contenant ses appareils d'éclairage*.

Les Membres nouvellement admis comme sociétaires sont les suivants :

Au mois de septembre :

MM. Cornut-Gentille, présenté par MM. Benoit Duportail, Courtépée et Mayer.

Guérin, présenté par MM. Forquenot, Loustau et Petiet.

Vigan, présenté par MM. Arson, Petiet et Rhoné.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IIIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1864

Séance du 1er Juillet 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. TRONQUOY donne communication de l'analyse de l'ouvrage de M. Ronna, sur la *fabrication et l'emploi des phosphates de chaux en Angleterre.*

Il n'y a guère de question qui ait été plus souvent traitée et discutée que celle des engrais. Il n'y a pas de jour où l'on ne présente à l'agriculteur de nouvelles ou d'anciennes matières sous un autre nom, d'une efficacité plus grande que celles précédemment annoncées et méritant un concert d'éloges plus vifs encore de la part des fabricants. Tandis que tel est encore chez nous l'état de la question, les Anglais ont fait justice depuis longtemps, paraît-il, de ces substances dont le nom mensonger cache la plupart du temps des qualités neutres, sinon malfaisantes.

M. le Ministre de l'agriculture vient de constater cette situation regrettable dans un rapport qui conclut à la nomination d'une commission dans le but d'examiner l'opportunité d'une loi destinée soit à prévenir, soit à réprimer les fraudes des engrais, tout en sauvegardant le principe de la liberté commerciale.

Dans les essais multipliés auxquels on a soumis les éléments fertilisants de l'air ou du sol, l'azote, les sels minéraux, les alcalis, etc., *l'excès de phosphate n'a jamais été trouvé nuisible,* tandis que l'excès des autres principes peut l'être et détruire l'espoir des récoltes.

Il n'y a donc pas lieu de s'étonner de l'importance de l'industrie des engrais phosphatés, elle se chiffre ainsi pour l'Angleterre.

Sur une consommation annuelle de 500,000 tonnes d'engrais commerciaux ou fabriqués (par conséquent, non compris les fumiers et composts des fermes), représentant 120 millions de francs, les phosphates figurent pour 40 millions, le tiers; les guanos pour 70 millions, et le reste comprend divers engrais d'un classement difficile. — Certaines usines peuvent livrer chaque année, de 20 à 25,000 tonnes de phosphates, ce qui correspond à une production d'acide sulfurique de 10 à 12,000 tonnes.

Les matières premières sur lesquelles repose la fabrication des phosphates, sont, outre les phosphates *animaux*, os en poudre, carbonisés ou incinérés que l'on recueille tant en Angleterre que dans la Baltique, la Méditerranée, la Plata et l'Australie, des phosphates *minéraux* tels que l'apatite de Norvége, la phosphorite de Truxillo en Espagne, des guanos concrétés de divers archipels de l'Amérique, et par-dessus tout les coprolithes.

Les coprolithes (disons tout de suite qu'on en extrait de 50 à 60,000 tonnes par an) sont des nodules ou rognons amorphes, terreux, à colorations noires, jaunes ou vertes, à formes irrégulières, de dimensions variables, que l'on rencontre en veines ou en amas dans les grès verts de la craie inférieure ou dans le lias. Les conditions de gisement et d'exploitation de ces coprolithes offrent un très-grand intérêt. Ils contiennent de 50 à 60 0/0 de phosphates insolubles, et s'exploitent aux environs de Cambridge et de Suffolk, sur la côte. On les livre au prix de 50 à 60 fr. bruts, et à 75 fr. lavés, la tonne.

Desséchés dans des fours spéciaux ou étonnés après calcination, les coprolithes sont broyés dans des moulins puissants, car ils sont très-durs, et réduits en poudre impalpable comme de la farine. Puis, on les traite à poids égal à peu près, dans les appareils à fonctionnement continu, par de l'acide sulfurique à 53 degrés qui convertit la plus grande partie du phosphate insoluble en biphosphate soluble. Le magma épais, provenant de l'attaque de l'acide, est écoulé sur le sol des usines où il fait prise comme du plâtre; quelques instants plus tard, il peut être mis en poudre à la pioche et expédié en sacs.

Le même traitement s'opère sur les os, guanos concrets ou apatites.

Le produit en résultant est improprement désigné sous le nom de *superphosphate*. Il comprend en moyenne 15 0/0 de biphosphate soluble. L'agriculteur, pour les racines (turneps, navets, mangold) dont la culture est très-développée en Angleterre à cause du bétail, emploie ces superphosphates tels quels.

Pour les autres cultures, céréales ou légumineuses, le superphosphate est additionné de matières azotées, telles que le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque, les déchets animaux, sang et chairs, etc., ou d'alcalis, cendres de végétaux charrées, etc.

Mais le superphosphate est la base fixe de tous les engrais. On peut même, sans addition ultérieure, lui donner de 1 1/2 à 2 0/0 d'ammoniaque, en traitant par l'acide sulfurique un mélange de coprolithes et d'os.

Le but recherché dans la fabrication des superphosphates étant d'obtenir une substance telle qu'elle puisse se répandre ou se dissoudre rapidement dans le sol, on comprend que l'acide phosphorique, en excès dans le biphosphate soluble, se combine avec les bases alcalines ou terreuses, avec lesquelles il est en contact dans la terre et que le phosphate précipité sous la forme gélatineuse devienne facilement assimilable par les plantes.

C'est ce qui se passe en effet, et les résultats consacrés par une pratique de vingt ans témoignent de la supériorité des phosphates, dans toutes les cultures, à titre d'auxiliaire du fumier normal.

L'auteur ne s'est pas borné à des renseignements précis, sur les conditions de traitement, d'achat des matières premières ou de mélange, sur la fabrication de l'acide sulfurique, sur l'installation des appareils mécaniques et la manipulation des mélanges, il s'est étendu spécialement sur les garanties, les falsifications et les analyses des produits. Il ressort clairement, des détails que l'auteur fournit à ce sujet, que si la liberté

commerciale n'est pas réglementée en Angleterre, les transactions demeurent honnêtes, et que l'on y est parvenu à chiffrer la valeur commerciale des engrais, tout aussi pratiquement que celle de tous autres produits fabriqués.

C'est par l'imitation de cette pratique que se développera notre productivité agricole.

Nous possédons des gisements inépuisables de coprolithes dans trente-neuf départements qui forment le bassin géologique anglo-parisien; on se borne actuellement à en extraire quelques milliers de tonnes que l'on répand sur le sol assez inutilement en poudre grossière. Les os de nos grands centres sont le plus souvent perdus pour l'agriculture. Nous aurions donc ainsi sous la main, en comprenant les guanos, les éléments d'une industrie destinée à modifier profondément les conditions économiques de notre agriculture, à créer de nouveaux débouchés à notre commerce, en même temps qu'elle simplifierait pour nos cultivateurs les moyens de fertiliser le sol.

L'auteur insiste sur ce dernier point, en recommandant « de fabriquer et vulgariser « des engrais d'une teneur garantie, d'une composition homogène, d'un aspect régulier « et d'une efficacité reconnue. » Les esprits pratiques ne peuvent manquer de s'associer en vue du bien général, au but d'une industrie ainsi définie, et qu'il importe de réhabiliter.

M. Bureau regrette que M. Rohart, membre de la société, ne soit pas présent à la séance pour fournir, sur la question les explications que pouvait suggérer son expérience comme fabricant d'engrais artificiels. Il ne faudrait pas croire qu'au milieu du charlatanisme auquel ces fabrications donnent malheureusement lieu, il n'y ait pas en France quelques fabricants honnêtes qui livrent à l'agriculture des engrais réellement efficaces. M. Rohart est certainement de ce nombre. Tous ses produits sont cotés d'après le dosage de l'azote et du phosphate qu'ils contiennent. Il y a dans nos campagnes un préjugé contre l'emploi de phosphates de chaux, et souvent même des engrais artificiels en général. Les publications de M. Rohart ont contribué à réhabiliter ces divers produits.

M. le Président rappelle que M. de Molon est l'un des promoteurs de l'emploi des phosphates de chaux en France.

M. Bureau dit qu'il connaît les longues recherches et les travaux de M. de Molon. Diverses personnes qui avaient, après ces recherches, entrepris l'exploitation de cette industrie, ont mal réussi, et ces échecs n'ont pas peu contribué à déconsidérer le produit lui-même.

M. le Président fait observer qu'en semblable matière, il est si aisé de constater les effets de tel ou tel engrais, qu'on ne se rend pas compte des difficultés rencontrées pour la propagation de l'emploi des phosphates.

M. Tronquoy dit que d'après M. Ronna, c'est au mode d'emploi des coprolithes qu'il faut attribuer l'insuccès. On les a répandus sur le sol après un simple concassage en poudre grossière, et sous cette forme, ils ne sont pas assimilables comme ils le deviennent après avoir été réduits en poudre impalpable et traités par l'acide sulfurique.

M. le Président trouve que cette raison rend compte parfaitement des résultats obtenus.

M. Dubied montre dans l'ignorance de nos cultivateurs ceux des obstacles les plus sérieux au développement de l'emploi des phosphates. Des gens qui laissent perdre encore aujourd'hui les engrais naturels liquides qu'ils ont sous la main sont naturel-

lement peu disposés à acheter des engrais artificiels. Il est certaines contrées, comme le département de la Loire-Inférieure, où les cultivateurs sont plus éclairés, et où l'on commence à employer ces nouveaux produits sur une assez grande échelle.

M. Marché, chargé par *M. Rey*, membre de la Société, de donner, en son absence, lecture de sa communication sur les *machines locomotives à avant-train mobile pour fortes rampes et courbes à petits rayons du système Vaessen*, rappelle que M. Lopez Bustamente, également membre de la Société, avait envoyé en mai 1863 une note sur le même sujet; comme cette première note n'a pas fait encore l'objet d'un rapport à la Société, M. Marché a réuni les renseignements qu'elle renferme à ceux recueillis par M. Rey, et y a joint les résultats de quelques expériences faites sur ces machines, qui lui ont été postérieurement communiqués par M. Lopez Bustamente.

Cette communication, étant trop intéressante pour être résumée, elle sera imprimée *in extenso* dans le Bulletin du 2e trimestre 1864, qui est sous presse en ce moment.

M. le Président demande si dans les déplacements de l'avant-train, le levier horizontal ne tend pas à se déverser par suite de la répartition inégale de la charge qu'il supporte.

M. Marché répond que l'avant de la locomotive repose sur ce levier par un couple de deux doubles plans inclinés, et que le déplacement transversal du centre de gravité de la charge reste toujours très-faible.

Il ajoute que le train mobile de M. Vaessen présente ceci de nouveau, que s'il peut, comme les trains américains, tourner autour d'un axe vertical pour suivre la direction de la courbe, le pivot peut, de plus, se déplacer lui-même transversalement en s'éloignant de l'axe de la machine à la demande de la courbe parcourue.

M. Marché présente ensuite l'analyse d'un ouvrage de M. Charbonnier, sur la *régularisation du mouvement des machines à vapeur*.

Dans cette publication, M. Charbonnier a développé les principes et les calculs relatifs aux volants et aux régulateurs à force centrifuge, qu'il avait exposés en 1842 à la société industrielle de Mulhouse, et dont il a fait depuis de nombreuses applications.

La première partie du volume est consacrée aux volants. L'auteur y décrit les diverses méthodes qui peuvent être employées à la détermination du poids d'un volant de machine à vapeur, et donne le calcul détaillé des coefficients, spéciaux à chaque système de machine, dont la connaissance permet d'exprimer le poids du volant en fonction de la force, en chevaux, de la machine, du nombre de tours de l'arbre moteur, du rayon de la jante du volant et de la fraction de la vitesse moyenne à laquelle on veut limiter les écarts de la vitesse pendant un tour de la manivelle.

Ces questions sont développées de la manière la plus complète, et on trouvera réunis dans cette partie du livre de M. Charbonnier tous les éléments nécessaires à la détermination rapide du poids d'un volant dans toutes les circonstances de la pratique.

Le second chapitre traite du régulateur à force centrifuge.

En établissant les conditions d'équilibre d'un pendule conique à bras articulés à une certaine distance de l'axe de rotation, et pour une valeur donnée de l'angle des bras avec la verticale, on trouve que l'effet à exercer sur le manchon pour une vitesse donnée du pendule, est variable avec l'angle des tiges et de la verticale. Ainsi, pour un régulateur de dimensions connues, M. Charbonnier trouve, pour une même vitesse, que cet effet, égal à $3^k,986$, lorsque le manchon est dans sa position moyenne, devient $47^k,290$ pour la position inférieure, et $2^k,456$ pour la position supérieure. Il insiste sur

l'importance qu'il y a à ce que, dans toutes ces positions, le pendule soit en équilibre pour une même vitesse.

Celle des forces agissant sur le régulateur, qu'il est le plus simple de faire varier pour obtenir, au moins approximativement, l'équilibre du pendule dans toutes ses positions pour une même vitesse de rotation, est le poids du manchon.

La disposition très-connue de M. Charbonnier consiste à équilibrer une fraction variable du poids du manchon à l'aide d'un contre-poids fixé *au bras oblique* d'un levier coudé dont le bras horizontal agit de bas en haut, le moment du contre-poids variant avec chaque position du levier.

Comme la loi de variation de ce moment est compliquée, difficile à exprimer et à reproduire, dans le cas général, le seul qu'il examine avec détails, M. Charbonnier démontre, sur un exemple, et en calculant pour une série de positions du manchon et par conséquent du levier et du contre-poids, le nombre de tours du pendule correspondant à l'équilibre, que les variations de vitesse n'atteignent pas $\frac{1}{300}$ de la vitesse de régime, ce qui prouve que pour chacune de ces positions, l'effet exercé sur le manchon, résultant du poids propre de la pièce et de l'action du levier, diffère très-peu de la valeur correspondant à l'équilibre pour la vitesse du régime.

M. Marché entre dans quelques détails sur le mode d'action du levier à bras oblique, désirant faire ressortir, sous une autre forme que celle employée dans l'ouvrage de M. Charbonnier, la simplicité et la généralité de cet appareil, appliqué depuis longtemps, mais à l'examen duquel une discussion récente lui paraît donner quelque actualité.

M. Marché s'attache à faire ressortir toute la généralité de l'emploi du levier à bras oblique, il insiste sur ce que l'inclinaison à donner à ce levier n'est pas arbitraire, mais déterminée par la disposition et les dimensions du pendule, de sorte qu'en variant cette inclinaison, on adoptera l'appareil à tous les cas de la pratique.

Il remarque, en terminant, que la disposition simple du levier de M. Charbonnier reproduit des variations d'efforts, dont la loi est complexe, que lorsque la loi de ces variations se simplifie (cas de pendule à bielles et bras égaux et articulations sur l'axe de rotation), la disposition du levier reste aussi simple, mais que la construction du pendule lui-même se complique. En d'autres termes, l'ensemble du pendule et de l'appareil d'isochronisation est simple lorsque la loi d'équilibre constant est compliquée; cet ensemble se complique lorsque la loi se simplifie.

M. Chabonnier dit qu'il regrette que diverses circonstances l'aient empêché de répondre plus tôt à la réclamation faite par M. J.-J. Meyer dans la séance du 1er avril, dont il n'a eu connaissance que le 14 à la lecture du compte rendu de cette séance.

M. J.-J. Meyer ne s'est probablement pas rendu compte de ce dont il était question; il a certainement fait confusion entre le régulateur à contre-poids et le régulateur jouissant des propriétés du régulateur parabolique au moyen d'un contre-poids.

On sait que les machines de M. Meyer sont à détente variable par le régulateur. Pour produire cet effet, il suspendait au manchon mobile du pendule conique un manchon cylindrique glissant avec le premier le long de l'arbre et entraîné comme lui dans le mouvement de rotation du système. Ce manchon porte deux cames en saillie sur sa surface extérieure et de même longueur que lui; ces cames soulèvent une soupape qui établit ou intercepte la communication entre le générateur et la boîte du tiroir; l'une ouvre la soupape à l'origine de la course descendante, l'autre à l'origine

de la course ascendante du piston; d'où il suit que la vitesse de rotation de l'arbre du régulateur doit nécessairement être la même que celle de l'arbre de la manivelle. La forme des cames est telle que la soupape reste ouverte d'autant moins longtemps que le manchon mobile est plus élevé.

Le poids du manchon mobile, celui du manchon à cames et des tiges qui le relient au premier, formaient une surcharge, parfois très-grande, qui s'opposait au jeu de l'appareil à la vitesse généralement assez modérée de la machine. Pour obvier à cet inconvénient, pour mettre la machine en état de fonctionner à la vitesse voulue, il a fallu équilibrer tout ou partie de la surcharge; c'est ce que M. Meyer a fait au moyen d'un contre-poids suspendu à l'un des bras d'un levier coudé; tel était le but du contre-poids de M. Meyer, il n'en avait pas d'autre.

L'angle des bras du levier était pris au hasard; le bras qui portait le contre-poids était taillé d'une série de crans; le monteur, pour régler la vitesse de la machine, suspendait un poids quelconque à l'un des crans, le changeait de cran, le diminuait ou l'augmentait au besoin jusqu'à ce qu'il eût obtenu la vitesse de régime, le régulateur étant à peu près dans la position moyenne; la vitesse de la machine se trouvait ainsi réglée dans cette position; mais elle devenait ce qu'elle pouvait dans les autres.

Le régulateur de M. Meyer avait donc un levier et un contre-poids, mais il n'avait pas et ne pouvait pas avoir les propriétés du régulateur parabolique; ce n'était pas le but qu'il s'était proposé, il n'en avait pas eu l'idée.

Jamais personne, dit M. Charbonnier, ne m'a attribué l'invention du régulateur à levier et contre-poids, comme M. Meyer le construisait.

A la vue de cette disposition, M. Charbonnier a pensé qu'il était possible d'établir le contre-poids et son levier dans des conditions convenables pour donner au régulateur la même vitesse dans toutes les positions, dans l'état d'équilibre; alors il détermina ces conditions.

Il a présenté à la société industrielle de Mulhouse, dans sa séance du 27 juillet 1842, le travail qu'il a fait à ce sujet, travail qu'il a reproduit depuis sous une forme un peu différente, et avec plus de développements. Employé alors dans l'établissement dont M. Meyer était le gérant, M. Charbonnier a présenté son travail au nom de MM. J.-J. Meyer et C^e^, et non à celui de M. J.-J. Mayer qui y était tout à fait étranger.

Le rapport fait au nom du comité de mécanique de la société industrielle (Bulletin n° 83, page 379) dit : « D'après la théorie établie par l'auteur du mémoire, on peut « toujours calculer un régulateur capable de ramener la vitesse de la machine à son « état normal, quelles que soient les variations de la résistance, etc. Il est évident, dit M. Charbonnier, que c'est bien moi qui suis désigné ici; cependant M. Meyer, qui était membre du comité de mécanique, sous les yeux duquel tout s'est passé, n'a fait alors aucune réclamation.

Il n'y a donc pas eu erreur, au moins quant à M. Meyer, de la part des personnes qui ont dit que M. Charbonnier avait, le premier, énoncé et réalisé le principe de ce qu'on a appelé l'isochronisme des révolutions du régulateur à boules, au moyen d'un contre-poids à moment variable.

Le rapport dit encore, page 375 du même Bulletin :

« Dans le régulateur dont l'auteur du mémoire donne la description, cet incon-« vénient n'existe pas (celui d'une vitesse variable avec la position des boules); un « contre-poids, dont le bras de levier est variable avec la position des boules, agit en « même temps que la force centrique pour en produire l'écartement, et les variations

« du bras de levier de ce contre-poids sont réglées de manière qu'il y ait toujours équi-
« libre dans le système des pièces qui constituent le régulateur. Si, par exemple, les
« boules s'écartent, le bras de levier ainsi que l'effet statique du contre-poids aug-
« mente, et il n'est pas nécessaire que la vitesse qui a produit d'abord l'écartement
« des boules reste la même pour qu'elles conservent la même position; la vitesse
« peut redevenir égale à la vitesse normale, et la diminution de la force centrifuge
« qui en résultera sera compensée par l'augmentation de l'effet du contre-poids. »

Les deux passages du rapport qui viennent d'être cités, répondent suffisamment à cette assertion de M. Sautter insérée dans le compte rendu de la séance du 18 mars dernier : « On savait que la vitesse du pendule variait avec la hauteur des boules et
« avec le poids du manchon ; mais on n'avait pas eu l'idée de se servir d'une de ces
« variations pour compenser l'autre, ou, si quelques essais empiriques avaient été
« tentés dans ce sens, ils prouvent mieux que tout le reste, que l'on ignorait com-
« plétement la loi suivant laquelle les variations de poids devaient se faire pour que la
« compensation eût lieu. »

Le principe est très-clairement énoncé dans le rapport, si la loi de la variation du moment du contre-poids n'y est pas énoncée, son existence dans le mémoire est suffisamment indiquée, puisqu'on parle d'une théorie au moyen de laquelle on peut toujours calculer un régulateur, etc.; et cette théorie constitue une méthode qui n'a certainement rien d'empirique. M. Charbonnier ne s'en est pas tenu à des essais qui, d'ailleurs, étaient inutiles; il a fait l'application du principe à un grand nombre de machines, même avant que le travail ait été présenté à la société industrielle de Mulhouse, la première application doit être de 1839.

M. Ivan Flachat donne lecture des observations suivantes au sujet de la discussion qui a eu lieu dans les deux précédentes séances des 3 et 17 juin, sur l'usure et le renouvellement des rails.

La lettre adressée à M. Eugène Flachat, et publiée dans le compte rendu de la séance du 3 juin, donne une méthode très-bonne pour se rendre compte de l'avantage à retirer de l'amélioration des rails; mais elle contient un aperçu sur l'emploi des rails en acier, qui tombe complétement devant les faits, et l'application même de la méthode.

Il est dit, en effet, page 189 :

« Pour les rails, la marge est un peu trop étroite. Jusqu'à ce que la durée des rails
« en acier fondu sur les voies courantes ait été éprouvée, et jusqu'à ce que le prix
« en soit descendu au taux de... 350 à 400 fr. la tonne... La seule chose à faire est de
« lutter par tous les moyens contre la destruction par exfoliation et dessoudage, au
« moyen d'une certaine augmentation très-notable du prix d'achat. »

Les faits sont, suivant moi, dit M. Ivan Flachat, tous favorables à l'emploi des rails en acier fondu. La Ce des chemins de fer du Nord, qui a fait quelque emploi, sur une certaine échelle, des rails en acier, a déclaré, par la bouche de M. Alquié, qu'elle s'en est fort bien trouvée, et qu'elle est toute disposée à continuer cette application dès que *le bon marché* le lui permettra. La Ce d'Orléans, celle de Lyon, celle des Charentes, et d'autres encore, font faire en acier les rails les plus fatigués et notamment ceux des changements et traversées de voies, et ceux des plaques tournantes. Ces applications ont déjà permis de juger que la durée des rails en acier était au moins triple de celle des rails en fer, et cela est assez d'accord avec les résultats obtenus sur les bandages dont l'épreuve s'est prolongée plus longtemps.

Les bandages en acier, en effet, durent environ le double des bandages en fer, dont

le prix est les 2/5 du leur, à n'en juger que par les chiffres publiés par M. Nozo, dans les mémoires de la société du dernier trimestre de 1862. Encore, en donnant les chiffres correspondant au parcours des bandages, M. Nozo fait observer que les meilleurs bandages en acier continuaient leur service, ce qui doit augmenter la moyenne citée plus haut; et probablement, en se reportant à ce que disait M. Brüll, dans ses observations sur le mémoire de M. Nozo, publiées au trimestre suivant, on arriverait à établir, au moins, que le parcours des bandages était en raison de leur prix coûtant à cette époque, c'est-à-dire dans le rapport de 5 à 2 en moyenne.

Or, comme les bandages en fer ne périssent guère que par l'usure, le principal avantage des bandages en acier est dans leur dureté. Mais, pour les rails qui périssent surtout par exfoliation ou dessoudage, comme le dit fort bien l'auteur de la lettre; l'acier fondu substitué au fer met à néant cette cause de destruction. Ce n'est donc pas sans raison que nous attribuons aux rails en acier fondu une durée triple de celle des rails en fer. Nous pensons même que lorsqu'une fabrication courante aura permis à l'industrie des rails en acier d'atteindre à la perfection obtenue dans celle des rails en fer, ce chiffre sera largement dépassé, parce que les rails en acier ne seront plus aussi sujets à la rupture que la plupart de ceux qu'on a fabriqués d'abord.

Quel que soit, du reste, le chiffre définitif auquel l'usage des rails en acier fondu conduira, notre raisonnement recevra toujours son application, et pour fixer les idées dès aujourd'hui, il faut admettre, comme hors de doute, qu'un rail en acier doit durer trois fois autant qu'un rail en fer, dont le prix est les 2/5 du sien.

Pour raisonner cette question à un point de vue pratique, il ne faut plus parler de *durée moyenne* des rails en fer; il faut considérer chaque ligne séparément, chaque fraction de ligne même; et peut-être aussi, dans ces fractions, la voie montante et la voie descendante, quand le trafic se répartit inégalement, quand les freins y exercent une action différente, etc., etc. Là, en effet, et là seulement où il y aura avantage à substituer des rails en acier aux rails en fer, on fera cette substitution. Peu nous importe, par exemple, que, sur le réseau du Nord, la moyenne de la durée des rails soit de 15 ans, si nous savons que sur la ligne de Dunkerque ils durent 27 à 30 ans, et aux abords de Saint-Denis, seulement quelques mois. C'est là qu'il faut apporter le remède. En considérant chaque point avec la fatigue qu'y éprouvent les rails, on arrivera à connaître dans quelle mesure et sur quels points l'application des rails en acier fondu doit être faite.

En prenant pour exemple, comme l'auteur de la lettre, une voie en rails Vignole de 37^{k},500, le prix moyen des rails en fer à 200 fr. la tonne, celui des rails en acier à 500 fr., et celui des accessoires aux prix indiqués par lui, nous établirons les prix kilométriques suivants :

75 tonnes de rails en fer, à 200 fr.	15000	en acier fondu, à 500 fr.	37500
Chevillettes, éclisses et boulons. .	1690	—	1690
Pose.	5000	—	5000
	21690		44190
Différence..	22500		
	44190		

Nous compterons les intérêts, non pas à 5 p. 100, mais à 5,75 p. 100, taux officiel des emprunts des Compagnies des chemins de fer en France, et très-voisin du taux moyen effectif.

La différence de 22500 francs, à porter au compte capital, grèvera donc le service des intérêts d'une somme de

$$22500 \times 0{,}0575 = 1293^{f},75.$$

Admettons que les accessoires, chevillettes, boulons et éclisses, soient plutôt mis hors de service par l'impossibilité de les faire servir une seconde fois, dès qu'on les a déposés pour remplacer les rails, que par l'usage lui-même; il faut compter qu'à chaque renouvellement des rails en fer, ils sont remplacés par moitié; qu'à chaque renouvellement des rails en acier, ils sont intégralement remplacés.

Admettons encore que les rails en fer perdent 100 francs, et que les rails en acier perdent 300 fr., ce qui est exorbitant. Mais il sera facile à chacun de faire un calcul semblable avec les données spéciales qu'il aura à considérer, et rien ne vaudra mieux que de s'adresser au fabricant pour connaître les prix vrais, quand on arrivera à l'application. Il est probable que les rails en acier fondu ne perdront pas plus de 200 fr., peut-être de 250 fr. dans le commencement; ce que nous en dirons, sur la base de 300 fr., sera donc vrai, *a fortiori*.

Les dépenses de renouvellement des rails seront ainsi :

Pour la voie en fer.		Pour la voie en acier.	
Rails, 75 tonnes, à 100 fr.	7500	Rails, 75 tonnes, à 300 fr.	22500
Accessoires $\frac{1690}{2}$	845	Accessoires	1690
Pose	5000	Pose	5000
	13345		29190

Considérons d'abord une portion de voie très-fatiguée, où les rails en fer ne durent pas plus de trois ans, comme on en trouve aux abords de certaines gares, dans certaines rampes, dans certaines conditions de fréquentation. Les rails en acier fondu dureront neuf ans dans les mêmes conditions.

13345 fr.	à dépenser dans	3 ans,	représentent,	à 5,75 0/0,	une annuité de 4970
13345 fr.	—	6 ans,	—	—	— 2693
13345 fr.	—	9 ans,	—	—	— 1940
					9603

D'autre part :

29190 fr. à dépenser dans 9 ans, représentent à 5,75 0/0, une annuité de 4244

La différence est de 5359

Dont il faut retrancher les intérêts à 5,75 0/0 de la différence du prix d'établissement comme ci-dessus 1294

L'avantage ressort ainsi par kilomètre de simple voie à 4065

La marge est considérable, comme on le voit, et suffirait à payer une plus-value énorme, puisqu'elle couvrirait une dépréciation de plus de 600 fr. par tonne.

Considérons maintenant une portion de voie telle que la ligne de Paris à Orléans, où les rails ne paraissent pas devoir durer plus de 10 ans. Les rails en acier dureront 30 ans. Nous arrivons alors aux chiffres suivants :

13345 fr.	à dépenser dans	10 ans,	représentent,	à 5,75 0/0,	une annuité de 1792
13345 fr.	—	20 ans,	—	—	— 1140
13345 fr.	—	30 ans,	—	—	— 943
					3875

D'autre part :

29190 fr. à dépenser, dans 30 ans, représentent, à 5,75 0/0, une annuité de 2064

La différence est de 4811
Dont il faut déduire les intérêts ci-dessus. 4294

L'avantage ressort encore à. 517

et suffirait à payer une plus-value correspondant à une dépréciation d'environ 350 fr. par tonne.

Il ressort bien nettement de ces chiffres que, tant que le prix des rails en fer sera voisin de 200 fr., on aura intérêt à les remplacer par des rails en acier fondu, faisant un usage triple, et à payer ceux-ci 600 fr. et davantage, pourvu que les vieux rails en valent 250. Avec des rails en acier fondu à 500 fr. la tonne, on aurait intérêt à remplacer les rails en fer sur toutes les parties où ils ne durent pas plus de onze à douze ans.

Le prix ou l'avantage augmenterait à mesure que diminuerait la durée des rails en fer, d'une section à une autre. C'est ainsi que sur des sections où les rails en fer ne durent que trois ans, on pourrait payer des rails en acier faisant un usage triple, jusqu'à 800 et 900 fr. la tonne.

Le prix des rails en acier fondu étant dès aujourd'hui bien inférieur, il est à croire que leur application ne saurait tarder à se généraliser.

M. Ivan Flachat ajoute qu'après l'envoi de cette note, il a eu occasion de conférer de son contenu avec des fabricants d'acier. Ils ont été unanimes à en trouver les conclusions insuffisantes. Dans leur pensée, les rails en acier fondu doivent durer, non pas seulement trois fois, mais bien dix, quinze, et vingt fois plus que les rails en fer, posés sur les voies courantes. D'après cela, il a appliqué la même méthode de calcul aux sections où les rails en fer durent 25 ans, et a trouvé qu'il y avait avantage à leur substituer des rails en acier fondu, même en ne supposant à ceux-ci qu'une durée quadruple. Le calcul donne, en effet :

43345 fr.	à dépenser	dans 25 ans,	représentent,	à 5,75 0/0,	une annité de	4018
43345 fr.	—	50 ans,	—	—	—	847
43345 fr.	—	75 ans,	—	—	—	778
43345 fr.	—	100 ans,	—	—	—	770
						3383

D'autre part: . . . . . .

29190 fr. à dépenser dans 100 ans représentent, à 5,75 0/0, une annuité de 1684

La différence est de. 1699
Dont il faut déduire les intérêts. 1294

Et l'avantage est encore de. 405

Ces 405 francs, divisés par l'annuité à 5,75 0/0 pour 100 ans, soit par 0,05774540, correspondent à une somme de 7190 francs environ qui, répartis sur 75 tonnes, équivaudraient à une dépréciation de 90 fr., et correspondraient à un prix actuel de 590 fr. environ par tonne de rails en acier.

Dans ces conditions, et même en faisant une part très-large aux causes diverses du remaniement des voies, on doit s'attendre au remplacement total des rails en fer par des rails en acier fondu, à mesure que les premiers seront mis hors de service.

M. LE PRÉSIDENT remarque que 100 ans est une durée bien longue, et qu'en pareille matière l'opportunité de mettre dehors des sommes importantes ne peut plus s'estimer à l'aide des calculs ordinaires d'amortissement.

M. IVAN FLACHAT propose de commencer l'expérience de l'emploi des rails en acier sur les sections les plus fatiguées où la durée des rails n'approche pas des chiffres qu'il vient de citer. C'est d'ailleurs ce qui a été déjà fait, et on s'en est bien trouvé. Des rails en acier, posés en 1864 sur la ligne d'Auteuil, n'ont subi jusqu'à ce jour aucun renouvellement, alors que des rails en fer posés dans les mêmes points auraient déjà été remplacés plusieurs fois. Quant à l'observation relative aux sacrifices à s'imposer pour la substitution de l'acier au fer, il faut remarquer que les Compagnies de chemins de fer portent aujourd'hui dans leurs comptes annuels des sommes importantes, et qui pour certains chemins s'élèvent à deux ou trois millions pour les dépenses de renouvellement. Si l'on peut diminuer ce chiffre, ce sera un avantage net, sans qu'on ait à se préoccuper si une partie de cette somme est attribuée aux porteurs d'obligations, au lieu d'être appliquée directement à l'entretien.

M. GOSCHLER fait observer que les calculs de M. Ivan Flachat ne tiennent pas compte des dépenses afférentes au renouvellement des traverses.

M. IVAN FLACHAT n'a pas fait entrer cet élément en ligne de compte pour ne pas compliquer ses calculs, et aussi parce que les traverses ont des durées très-variables, en raison de la variété des essences employées, des procédés de préparation, de la nature du ballast et des conditions de service. Comme d'ailleurs la substitution de l'acier au fer ne change rien à cet élément de dépense; M. Ivan Flachat ne pense pas que le renouvellement des traverses ôte rien à la valeur de son raisonnement.

M. GOSCHLER appelle l'attention sur les modifications successives qu'ont subies déjà la forme et le profil des rails; il faut prévoir encore pour l'avenir de semblables changements, et ils pourraient amener le retrait des rails avant qu'on en ait tiré tout le service qu'ils pouvaient rendre.

M. IVAN FLACHAT répond que les rails retirés pour ces motifs seront utilisés sur les voies moins fatiguées, comme on l'a fait pour les rails en fer, et qu'au surplus, la fabrication des rails elle-même est sujette à des modifications et à des perfectionnements. Si les fabricants pouvaient avoir dès maintenant des commandes importantes, la fabrication pourrait se simplifier, et les conditions s'améliorer encore.

M. IVAN FLACHAT passe rapidement en revue les différentes phases de la fabrication, et en signale les différents points susceptibles de progrès. Au sortir de la cornue Bessemer, le métal est coulé en lingots de la forme et du poids nécessaires pour former un rail par l'étirage au laminoir. Il n'y a aucune soudure, aucune reprise de l'acier, et on a ainsi une garantie absolue du côté de l'homogénéité. Les rails sont ensuite portés au pilon après un réchauffage, et au laminoir après un nouveau refroidissement et un nouveau retour aux fours. Il y a là plusieurs portes ouvertes aux économies. Ainsi on arrivera probablement un jour, quand on sera plus sûr des matières, et il existe même déjà une installation pour réaliser ce résultat, à verser directement dans l'appareil Bessemer la fonte coulant du haut fourneau. On évitera ainsi une seconde fusion. Peut-être pourra-t-on remplacer par des fontes de pays, des fontes étrangères de prix élevé qu'on emploie aujourd'hui à la fin de l'opération. On arrivera sans doute à simplifier le travail au pilon qui fait disparaître les bulles du lingot. Celles-ci, en effet, ne paraissent pas avoir réellement les inconvénients qu'on avait redoutés d'abord, et n'altèrent point la résistance du rail, comme les criques qui se produisent sur les rails en fer.

M. LE PRÉSIDENT remarque que les calculs qui précèdent reposent sur l'hypothèse d'une durée trois ou quatre fois plus grande pour l'acier que pour le fer. Or, ce chiffre n'est jusqu'à présent qu'une impression des fabricants.

M. IVAN FLACHAT dit qu'il y a là plus qu'une impression, et que quelques faits permettent déjà de se faire une opinion à cet égard. Ainsi, on a posé en octobre 1859, dans la gare Saint-Lazare, divers appareils en acier qui durent encore, après quatre ans et demi de service, en des points où des appareils en fer ne résistaient guère plus de six semaines ; ces appareils ont donc duré trente fois plus que les premiers.

M. LE PRÉSIDENT considère ce fait comme un cas particulier. Les croisements et les changements de voie sont, en effet, dans des conditions toutes spéciales, et on ne peut encore citer d'expériences faites sur des rails courants.

M. IVAN FLACHAT pense que l'on peut conclure de l'un à l'autre cas. Si l'acier présente des avantages aussi nets sur le fer dans des pièces qui sont généralement faites en fer de choix bien soudé et corroyé, et où ne peut apparaître le principal défaut des rails courants, la facilité à se dessouder ou à s'exfolier, il l'emportera à plus forte raison dans la voie courante où ce défaut, que l'acier fondu ne peut présenter, prend une si grande importance.

M. GOSCHLER indique la forme aiguë que prennent bientôt les rails des croisements de voie en acier. Les bandages se coupent sur ces angles vifs, et il n'est pas rare de recueillir sur ces appareils des poignées de copeaux de fer qui ont été détachés des bandages. Cet inconvénient ne se présente pas avec le fer.

M. IVAN FLACHAT n'avait aucune connaissance de ce fait qu'il ne peut s'expliquer. Il ne se produira certainement pas avec les bandages en acier.

UN MEMBRE, au sujet de l'avenir des rails en acier Bessemer, dit qu'il est évident que la question serait de beaucoup simplifiée par une importante baisse du prix de ces rails. Il a des raisons de penser que l'époque où un tel abaissement de prix pourra se produire n'est pas aussi éloignée qu'on le croit.

Il existe en Suède, dans la provinces de Norrbotten, un peu au nord du golfe de Bothnie, un énorme gisement d'un très-riche minerai de fer, excellent, très-convenable à la fabrication des rails d'acier, et facile à exploiter par quantités considérables; par quantités assez grandes pour alimenter, s'il y avait lieu, la fabrication des rails de tout notre continent, pendant des centaines d'années. Ce gisement, trop peu connu, est *la montagne de fer de Gellivare*.

Il résulte d'estimations et d'autres travaux que ce membre a eus sous les yeux l'année dernière, qu'une compagnie qui achèterait les mines de Gellivare, et qui tirerait parti convenablement de leurs produits, pourrait se livrer à elle-même, en France, des rails en métal Bessemer, bien conditionnés, à environ 400 fr. la tonne, et même à moins.

Il espère que l'on pourra, d'ici à deux ou trois ans, vérifier par les faits jusqu'à quel point cette allégation est exacte.

M. LE PRÉSIDENT rappelle la discussion qui a eu lieu précédemment sur les propriétés comparatives du fer et de l'acier à propos des bandages. L'acier Krupp donne, en définitive, dans cet emploi, d'excellents résultats. Il faut voir aujourd'hui, en recueillant aussi le plus de faits possible, ce que l'acier peut devenir comme rails. L'expérience qui se poursuit sur la rampe d'Étampes est l'une de celles qui se prêtera le plus facilement à une conclusion.

Séance du 5 Août 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Vuillemin, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de l'ordre de la Couronne de Prusse.

M. TRESCA donne lecture d'une lettre adressée à M. le Président par M. Eugène Flachat, sur la question de l'enseignement professionnel. Cette lettre sera imprimée *in extenso* dans le Bulletin du 3e trimestre.

M. TRESCA. Quoique ne partageant pas, sur certains points secondaires, l'avis de M. Flachat, il s'abstiendra de faire aucune observation sur cette lettre, car il craindrait d'amoindrir la portée de cette intéressante communication, qui témoigne une fois de plus de l'activité d'esprit de l'auteur. Il préfère réserver toute discussion sur ces questions importantes à une occasion ultérieure.

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'il a été adressé à chacun des membres de la Société une lettre circulaire appelant leur attention sur l'enseignement professionnel, et demandant des travaux sur ce sujet. Il a le regret de constater qu'à part cette lettre qui vient d'être lue, il n'a été adressé encore que fort peu de chose en réponse à la circulaire.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. Jules Poirée, ingénieur des ponts et chaussées, à laquelle est joint un exemplaire d'un Mémoire sur le frottement ou sur la résistance qui se produit en faisant glisser un corps sur un autre, par M. le chevalier Quintino Sella, mémoire lu à l'Académie royale des sciences de Turin, séance de la classe des sciences physiques et mathématiques, le 7 avril dernier.

M. Sella rappelle d'abord les expériences faites relativement à cette question, et commence par celles qui furent exécutées au XVIIe siècle, par Amontons qui, cherchant à quelle tension un ressort pouvait mettre en mouvement un corps placé sur une table, arrivait à cette conséquence que le frottement était indépendant de l'étendue du contact.

Il passe aux expériences faites en 1784 par Coulomb qui, étudiant le mouvement d'un corps placé sur une règle de 2 mètres de long, et entraîné par un poids au moyen d'une corde passant sur une poulie fixée au sommet de la règle, déduisait que le frottement était : 1° proportionnel à la pression; 2° indépendant de l'étendue du contact; 3° sinon complétement, du moins presque indépendant de la vitesse du mouvement.

Il parle ensuite de la longue série d'expériences faites par M. le général Morin, de 1831 à 1834, suivant une méthode identique à celle de Coulomb, avec ces différences que la règle sur laquelle on faisait glisser un autre corps, avait 8 mètres de long, que la vitesse était relevée au moyen de courbes tracées par une pointe mue par un mou-

vement d'horlogerie sur des disques de papier fixés à la poulie sur laquelle passait la corde qui portait le poids moteur, et que, entre le bout de la corde et le corps à mettre en mouvement, était interposé un dynamomètre. De ses expériences, M. Morin avait déduit une série de données importantes pour la mécanique pratique, confirmant les principes énoncés par Coulomb, sauf la restriction qu'il faisait en disant que le frottement n'était pas toujours indépendant de la vitesse.

A la suite de cela, les principes de Coulomb furent admis sans contestation dans tous les traités de mécanique. Cependant, ajoute M. Sella, les praticiens n'ont pas foi dans la rigueur de ces principes; ainsi, par exemple, nos ingénieurs mécaniciens savent que les mêmes freins qui suffisent pour maintenir uniforme la marche habituelle des convois qui descendent la pente *de Giovi* ne peuvent plus empêcher l'accélération du mouvement, quand la vitesse initiale dépassait une certaine limite. Ce qui démontre évidemment que sur les chemins de fer, le frottement de glissement diminue quand la vitesse augmente.

MM. Poirée et Bochet, continue l'auteur, firent dans ces dix dernières années une suite d'expériences sur les chemins de fer en attelant à la locomotive, au moyen d'un dynamomètre, un wagon dont les roues étaient fixées de manière à glisser sur les rails sans tourner, ou bien dont les roues étaient remplacées par des patins.

De ces expériences M. Bochet conclut que le frottement est proportionnel à la pression, sensiblement indépendant de l'étendue du contact, mais dépendant de la vitesse. Il croit que le frottement est maximum quand la vitesse est nulle, qu'il diminue à mesure que celle-ci augmente, et devient nul ou presque nul à une très-grande vitesse. Il y a quelques années, il disait qu'en construisant une courbe, dont les abscisses fussent les vitesses, et les ordonnées les frottements correspondants, on aurait un arc d'hyperbole, asymptotique à l'axe des abscisses ou à une parallèle à cet axe; mais il a modifié depuis ces conclusions, et il admet maintenant que le frottement, quoique dans des circonstances en apparence identiques, n'est pas constant de façon à pouvoir être représenté par une courbe unique, mais bien par une zone comprise entre deux courbes.

M. Sella parle enfin des expériences faites par M. Hirn pour la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, dans quelques-unes desquelles il étudiait les relations existant entre les calories produites durant le frottement d'un arbre sur son coussinet et le travail employé. Pour faire cette détermination, M. Hirn plaçait un coussinet sur un arbre et reliait au coussinet le fléau d'une balance dont l'extrémité était chargée de poids. Supposé la balance en équilibre alors que l'arbre était immobile, le frottement détruisait l'équilibre lorsque l'arbre tournait, et les poids à ajouter à l'un des plateaux de la balance pour le rétablir mesuraient le frottement produit entre l'arbre et le coussinet.

M. Hirn divise les frottements en immédiat et médiat, selon que les surfaces se touchent directement ou que l'on interpose une couche solide, liquide ou gazeuse. Il croit que le frottement immédiat obéit aux lois de Coulomb, mais que le frottement médiat est une fonction composée de la pression, de l'étendue du contact et de la vitesse. Cet auteur fait, en outre, une observation très-importante : c'est que, à une vitesse minime, les couches ne peuvent s'interposer entre les deux corps frottants, mais qu'à une certaine vitesse, non-seulement les couches liquides, mais l'air lui-même qui baigne tous les corps à la surface de la terre, parvient à s'interposer entre les corps qui frottent, et diminue le frottement dans une proportion notable.

Après ces considérations sur l'histoire de l'étude du frottement, le chevalier Sella

fait observer que lorsqu'un corps glisse sur un autre, les aspérités des deux surfaces doivent être cause qu'il se détache de celles-ci des parcelles de matière, et que l'attraction des molécules d'un corps sur celles de l'autre qui viennent au contact doit occasionner dans tous deux des mouvements vibratoires. Cela revient à dire que le frottement est dû à une destruction mutuelle des corps et aux vibrations qui se produisent près de leur surface de contact. Ce qui influe surtout sur la destruction réciproque des corps, c'est l'état de la surface de chacun d'eux; sur les mouvements vibratoires, ce sera leur nature intime. De façon que si l'on parvenait à éliminer ou à réduire à presque rien l'usure réciproque, le frottement resterait essentiellement fonction de l'élasticité des corps entre lesquels il s'exerce.

Le frottement ainsi compris, on ne peut se rendre compte comment il doit être indépendant de l'étendue du contact et de la vitesse et simplement proportionnel à la pression. Aussi l'auteur croit qu'il importe beaucoup d'étudier le frottement dans de larges limites de pression, de vitesse, d'étendue de contact, et de durée, et de rechercher comment varie le frottement, selon qu'on en fait varier la direction en expérimentant sur des corps qui, comme les cristaux, ont des élasticités différentes dans divers sens. A son avis, on ne pourrait employer pour cela ni les méthodes de Coulomb et du général Morin, ni celles de MM. Poirée et Bochet, parce qu'elles sont trop peu délicates et mieux appropriées aux besoins de la mécanique appliquée qu'aux exigences de la physique moléculaire. La balance de M. Hirn approcherait plus du but, mais elle n'est pas applicable aux cristaux et laisse trop d'incertitude sur la distribution des pressions entre deux corps frottants.

M. Sella propose à la place deux instruments auxquels il donne le nom de *tripsomètres*, fondés sur les principes suivants :

Si l'on place un corps en plan sur un cylindre qui tourne, le frottement tendra à déplacer ce corps, et s'il est maintenu par un ressort, la tension de celui-ci donnera la mesure du frottement. Ou bien, si l'on place un corps sur un disque tournant autour d'un axe vertical, la tension du ressort suffisant à empêcher le corps d'être entraîné mesurera le frottement.

Avec ces tripsomètres, on peut étudier les frottements dans de larges limites de vitesse, on peut frotter les deux corps l'un contre l'autre jusqu'à ce que toute aspérité ait disparu, et, au moyen d'une machine pneumatique, on peut les soustraire à l'influence de l'air; en outre, on peut expérimenter sur des corps de petite dimension comme les cristaux.

Le tripsomètre à cylindre sert pour l'étude des variations du frottement dans les cristaux, selon que l'on fait varier les directions dans lesquelles on expérimente.

Le tripsomètre à disque est destiné aux recherches sur les variations du frottement avec l'étendue du contact.

En 1859, l'auteur avait demandé à l'habile M. Froment de lui construire un tripsomètre à cylindre, et, l'ayant reçu, il le présenta à l'Académie. Cet appareil consiste en un mécanisme d'horlogerie, qui met en mouvement deux cylindres dont on mesure la vitesse au moyen d'un compteur. Sur l'un de ces cylindres, ou sur tous les deux, on pose des corps fixés à une tige dont les bouts sont reliés à l'une des extrémités d'un ressort qui, au moyen d'une vis placée à son autre extrémité, peut être plus ou moins tendu. Les deux cylindres tournent en sens contraire, de façon que si l'on exerce les frottements sur les deux, la tension des ressorts donnera les différences entre ces deux frottements, et que l'on a au contraire le frottement absolu si l'on n'opère que sur un seul.

Les résultats des premières expériences faites avec ce tripsomètre par le chevalier Sella et l'ingénieur Montefivre seraient ceux-ci :

1° *Dans les mêmes corps, le frottement varie beaucoup, selon la netteté de leurs surfaces.* En effet, si l'on place une plaque de quartz sur un cylindre de laiton, le frottement augmentera jusqu'à être plus que doublé en continuant à frotter, et il est immédiatement ramené dans les limites initiales si, au moyen d'un petit morceau de papier placé entre le cylindre et la plaque, on rend leurs surfaces unies;

2° *Dans les limites de vitesse comprises entre zéro et* 0m,50 *par seconde, le frottement croît avec la vitesse.* — Ainsi, par exemple, entre une plaque de quartz et un cylindre de laiton, le rapport du frottement à la pression croît graduellement de 0,12 à 0,19 quand la vitesse augmente de 1 à 55 centimètres par seconde. Ce résultat étant en contradiction directe avec ceux que l'on obtient sur les chemins de fer, démontre ou bien que dans les grandes vitesses des chemins de fer l'air s'introduit entre le rail et les freins de façon à en diminuer le frottement, ou bien que le frottement est fonction de la vitesse, de telle sorte qu'il croît avec celle-ci jusqu'à un certain maximum au delà duquel il va en diminuant;

3° *Le frottement varie dans les cristaux selon la direction dans laquelle il s'exerce.* — Ainsi, dans le quartz, par exemple, et dans les limites de vitesse indiquées ci-dessus, le frottement parallèle à l'axe cristallographique de symétrie est notablement plus grand que dans la direction perpendiculaire à cet axe.

M. Poinsot ajoute que M. Sella n'attache pas une importance absolue aux valeurs numériques du coefficient de frottement qu'il a déduites de ses expériences; mais le fait capital qui en ressort d'une façon certaine, c'est que, pour les vitesses expérimentées, le coefficient diminue quand la vitesse diminue.

M. Poinsot rappelle que les expériences qu'il a exécutées autrefois sur des wagons de ballast avec des vitesses variant de 5 à 22 mètres par seconde, donnent un coefficient de frottement qui diminue à mesure que la vitesse augmente. M. Bochet a obtenu dans ses expériences un résultat semblable à peu près entre les mêmes limites de vitesse, mais il a de plus conclu par des raisonnements théoriques que la loi devait se continuer au delà de ces limites, et il a pensé que la courbe représentant le phénomène, courbe dont ses expériences ne lui donnaient qu'une partie, devait être un arc d'hyperbole, dont les ordonnées décroissent à mesure que l'abscisse augmente.

M. Sella, opérant avec des vitesses beaucoup plus faibles, trouve au contraire une courbe dont les ordonnées décroissent quand l'abscisse augmente. Cette courbe ne peut faire partie de celle que M. Bochet propose, et il est présumable que la courbe complète doit s'élever d'abord pour redescendre ensuite, et qu'elle présente un maximum.

M. Hirn a aussi employé la rotation d'un cylindre pour faire des expériences sur la valeur du frottement. Il a fait tourner le cylindre avec une plus grande vitesse, et les résultats qu'il a obtenus, joints à tous ceux qui viennent d'être exposés, accusent tous nettement la variation du coefficient avec la vitesse, contrairement à la loi de Coulomb et aux expériences de M. le général Morin.

M. Tresca fait observer que les diverses séries d'expériences qui viennent d'être citées ne peuvent contredire celles de M. le général Morin, parce qu'aucune d'elles n'a été faite entre les mêmes limites de vitesse. Ce n'est que pour les vitesses expérimentées par lui que M. le général Morin a avancé la constance du coefficient de frottement.

M. Poirée dit que les faits constatés par M. Sella sont incontestables en eux-mêmes. Peut-être y a-t-il en dehors du frottement même des causes étrangères qui interviennent dans les résultats. Il serait intéressant de les multiplier et d'en varier les conditions. M. Sella n'a pu, comme il le désirait, opérer en grand avec une installation munie d'un volant; il serait désirable que quelques membres de la Société pussent reprendre ces intéressantes recherches.

M. le Président fait observer que dans les essais au frein de Prony, on se trouve placé à peu près dans les conditions des essais de M. Sella.

M. Fourneyron a remarqué que dans ces essais le poids suspendu à l'extrémité du levier du frein entraîne celui-ci quand la vitesse augmente les autres conditions de l'essai restant constantes. M. Hirn a étudié la question dans un travail étendu et fort bien fait. Il a donné une formule exprimant le frottement en fonction de la vitesse, formule applicable aux grandes et aux petites vitesses.

M. Poirée rapporte que M. Sella, qui a lu le travail de M. Hirn, dit qu'il ne renferme pas l'étude du frottement à petite vitesse.

M. Gaudry fait observer l'analogie entre la loi observée par M. Sella et la loi suivant laquelle le tirage d'un bateau varie avec la vitesse; quand celle-ci augmente jusqu'à 8 mètres par seconde, le tirage augmente; au delà, le tirage diminue à mesure que la vitesse croît.

M. Tresca pense que la comparaison n'est pas exacte, parce que c'est la diminution du tirant d'eau qui amène la diminution de la résistance.

M. Gaudry n'a voulu mentionner qu'une similitude de résultats, sans s'inquiéter des causes. Quand le bateau va plus vite, le tirage diminue aussi, parce que le bateau se dégage plus vite des ondes que développe son sillage.

M. le Président fait observer que le volant que M. Sella voudrait employer dans ses essais est particulièrement approprié aux grandes vitesses, et qu'il paraît impropre à expérimenter à faible vitesse, comme on paraît le désirer. Quant aux expériences que M. Sella voudrait voir effectuer, il ne pourrait probablement mieux s'adresser qu'au Conservatoire des Arts et métiers.

M. Tresca dit que le Conservatoire a eu l'occasion de faire quelques expériences sur l'usé par frottement, et que, dans les limites des vitesses de ces expériences, l'usé n'a pas varié avec la vitesse.

M. Fourneyron demande à M. Poirée si, dans les expériences de M. Sella, le prisme s'usait notablement pendant l'essai en son point de contact avec le cylindre.

M. Poirée répond que la charge était assez faible pour que cette usure n'ait pas d'importance, et que d'ailleurs l'écart des valeurs constatées est assez net pour que la conclusion ne puisse pas être influencée par des effets secondaires.

M. le Président remercie M. Poirée de la communication du travail de M. Sella.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. Desbrière, relative à la discussion qui a eu lieu dans les précédentes séances sur l'usure et le renouvellement des rails.

Vous avez eu la bonté de me demander, à la séance du 17 juin dernier, si j'avais des renseignements à apporter dans le débat qui a rempli cette séance et la précédente. Je n'avais qu'une observation à faire, et je n'ai pas voulu interrompre les communications intéressantes que les ingénieurs chargés de l'entretien de nos grandes lignes allaient apporter comme éléments à la discussion. Le tribut de ces renseignements

étant aujourd'hui complet, je prends la liberté, Monsieur le Président, de soumettre à la Société l'observation dont il s'agit.

Elle porte tout entière sur l'emploi du fer provenant de minerais phosphoreux dans les couvertes des rails Vignole, emploi dont M. Alquié a dit un mot en passant, dans la séance du 3 juin, et auquel il ne me semble pas avoir accordé toute l'importance qu'il mérite.

D'après M. Alquié, « la composition chimique du fer paraîtrait avoir une grande « influence sur la durée des rails, et les analyses qu'il a faites l'ont porté à penser « que le phosphore pourrait, dans une certaine mesure, donner à la partie qui sert « au roulement les propriétés qu'on doit rechercher, facilité de travail à chaud, du- « reté à froid. Toutefois, il ne soumet ces résultats que sous réserve, les recherches « dans ce sens n'ayant été ni assez multipliées, ni peut-être assez précises. »

C'est à la suite d'une pratique étendue et prolongée, sans idées préconçues évidemment, et en ne se basant que sur les faits qui étaient à leur connaissance personnelle, que les ingénieurs du chemin de fer du Nord sont arrivés à reconnaître ces faits, qu'ils ne formulent cependant qu'avec une prudente réserve.

S'il n'y avait là que les résultats d'une observation isolée, on pourrait, malgré toute la confiance qu'inspire si justement l'expérience des ingénieurs du chemin du Nord, n'accepter aussi ces résultats que sous toutes réserves.

Mais il n'en est pas ainsi ; les résultats annoncés par M. Alquié ne sont que la confirmation de faits établis depuis plusieurs années par la pratique des usines et des chemins de fer d'Allemagne.

Je ne puis, à cet égard, me dispenser de rappeler que j'ai eu occasion de faire connaître ces faits dans un mémoire qui a paru dans les comptes rendus de notre Société (année 1858, 4e cahier), et qui a été reproduit également par les *Annales des mines* (année 1858, 3e et 6e livraisons), sous le titre de : ***Note sur la fabrication des rails dans les usines de la Compagnie du Phénix.***

Ce mémoire fait connaître avec détail une méthode de fabrication dans laquelle les couvertes pour rails sont obtenues au moyen de fontes grises provenant de minerais *phosphoreux*, et établit les avantages qui résultent de l'emploi de ces couvertures au point de vue de la bonne soudure et de la dureté superficielle. Il relate également les résultats d'expérience obtenus dans quelques forges françaises par l'application de cette méthode.

M. Alquié s'est borné à annoncer que les rails les plus durables lui avaient paru présenter à l'analyse des proportions notables de phosphore, sans énoncer avec détail les avantages qu'on pouvait attendre de la présence de ce métalloïde dans les fers à rails; je crois devoir donner à cet égard quelques détails nouveaux, parce que l'emploi des fers phosphoreux constitue, à mon sens, un des progrès les plus sérieux qu'ait accomplis dans ces dernières années la métallurgie spéciale des rails, et, par là même, la question de la conservation de la voie des chemins de fer.

Les minerais phosphoreux dont j'ai cru et crois devoir encore recommander l'usage sont à la portée de tout le monde en France. Ils existent en très-grande abondance dans le Boulonnais, où ils sont connus sous le nom de ***minerais de prairie***, et dans beaucoup d'autres régions de la France, telles que la Meuse, les Ardennes. Comme il ne faut qu'une proportion minime de phosphore pour donner au fer les propriétés qui le rendent apte à former des couvertes de rails, il n'est pas d'usine qui ne puisse introduire dans ses lits de fusion une quantité suffisante de ces minerais, quand

bien même elle n'en aurait pas dans son voisinage. Ainsi disparaît l'objection élevée par M. Flachat, et d'après laquelle cette méthode de fabrication ne serait le fait que de quelques usines placées dans des conditions spéciales d'approvisionnements. Il est, du reste, reconnu que les mélanges de minerais sont les meilleurs moyens d'améliorer ou de corriger la nature des fers, et il n'est pas d'usine qui aujourd'hui néglige d'en associer de provenances variées, et quelquefois très-éloignées, dans ses lits de fusion.

La présence de 1/2 à 1 pour 100 de phosphore dans le fer lui communique des propriétés bien connues des métallurgistes, et qui toutes concourent à le rendre éminemment propre à entrer dans la composition de la partie supérieure d'un rail.

En premier lieu, le fer phosphoreux est moins dur au feu; autrement dit, sa température de soudure est moins élevée que s'il était plus complétement épuré. Il s'ensuit que, si dans le corroyage d'un fer brut contenant du phosphore, on a soin de ne pas atteindre la température blanche à laquelle ce métalloïde serait expulsé en grande partie, on aura un fer corroyé dont la température de soudure ne différera pas sensiblement de celle d'un fer brut ordinaire (c'est-à-dire ne contenant pas de phosphore en proportion sensible), et qui par conséquent sera très-disposé à se souder avec ce dernier, si d'ailleurs toutes les autres précautions de rigueur pour la bonne soudure ont été prises dans la composition du paquet et dans les méthodes de cinglage et d'étirage.

Une seconde propriété dont jouit le phosphore, et qui a été mise en évidence par un travail remarquable de M. Janoyer (*Annales des Mines*, tome VI, 5e série), consiste à annuler la qualité *rouveraine* que le soufre des minerais ou des combustibles communique aux fers. Cette qualité *rouveraine*, ou propriété de casser à chaud, est la cause la plus ordinaires des *criques* qui se manifestent souvent à la partie supérieure des champignons des rails; ces criques ne sont autre chose que les solutions de continuité qui se produisent lorsque le fer, pendant le passage au laminoir, atteint sur certains points la température (autrement dit la *couleur*) à laquelle la rupture du fer tend à se produire. Ce défaut très-fréquent, et qui est la cause de la plupart des rebuts que subissent les rails à la réception aux usines, est donc heureusement évité par l'introduction du minerai phosphoreux dans les lits de fusion destinés à produire la fonte d'où proviennent les couvertes pour rails.

Enfin, le fer phosphoreux est à la fois dur et cassant à froid, c'est-à-dire résistant bien à froid à la compression, mal à l'extension, propriétés, comme on le sait, entièrement connexes, et qui se trouvent réunies dans beaucoup de corps (la fonte, et tous les produits siliceux, par exemple). Il s'ensuit que le fer phosphoreux est parfaitement approprié au rôle que doit jouer le champignon d'un rail Vignole, lequel est appelé à travailler par compression, lorsque le rail fléchit sous la charge, et à résister à l'écrasement que tend à produire la pression des bandages.

Ces trois propriétés, très-saillantes et très-connues du fer phosphoreux, le rendent donc précieux pour la composition des paquets de rails Vignole, pourvu qu'on ait le soin de former le patin avec du fer bien exempt de phosphore, et conséquemment résistant bien à l'extension; le laminage du patin sans crique est, du reste, très-facile, moyennant l'emploi de deux petites bandelettes de corroyé que l'on place au bas du paquet, et de part et d'autre de sa base.

A ces avantages se joint un prix assez bas, puisque les minerais phosphoreux, d'une extraction généralement facile, ne sont pas d'ailleurs recherchés pour les autres

usages du fer, lesquels comportent toujours une plus ou moins grande résistance à l'extension.

C'est par l'emploi du fer phosphoreux que les usines françaises pourront arriver, ou sont arrivées déjà à produire des rails Vignole à la fois bien soudés, à surface de roulement parfaitement lisse et nette, résistant bien à la pression des roues les plus chargées sans s'écraser, sans se dessouder et sans se rompre, et dont le prix ne dépasse pas aujourd'hui 200 fr. la tonne.

Il va sans dire que le rail à double champignon ne peut trouver dans le fer phosphoreux les avantages qu'y trouve le rail Vignole, puisque ses champignons doivent résister alternativement à l'extension et à la compression. Aussi, une importante usine française, qui s'est adonnée à la fabrication du rail Vignole, éprouve en ce moment les plus grandes difficultés à satisfaire une Compagnie à laquelle elle fournit des rails à double champignon. Les deux champignons étant formés de fer phosphoreux, le rail casse sous le choc d'un mouton tombant d'une hauteur bien plus faible que ne le prescrit le cahier des charges.

Il arrive ainsi une chose remarquable, c'est que le rail Vignole contre lequel un des arguments invoqués à l'origine par ses adversaires, était une prétendue difficulté de fabrication, résultant de sa forme, se trouve, au contraire, devoir à cette forme un nouvel avantage, celui d'une fabrication plus économique et plus parfaite.

Il n'est donc pas étonnant que les ingénieurs du chemin du Nord, pour lesquels le fer phosphoreux a été employé sur une très-grande échelle par quelques-uns de leurs fournisseurs, aient trouvé supériorité de durée aux rails Vignole qui présentaient une forte proportion de phosphore à l'analyse, et qu'ils aient reconnu de plus ce fait très-remarquable, que la durée moyenne probable de leurs rails Vignole atteindrait 27 ans, tandis que celle des rails à double champignon ne dépasserait pas 20 ans, malgré l'avantage tant vanté et si peu sérieux, d'ailleurs, du retournement.

Même en n'admettant que sous bénéfice d'inventaire des chiffres aussi forts, la relation entre ces chiffres n'en subsiste pas moins; elle assure aux rails Vignole environ un tiers de durée en plus sur les rails à double champignon.

Je crois devoir ajouter aussi quelques mots sur le *triage* ou classement des fers destinés à faire le paquet. C'est assurément un point de départ excellent que de vouloir rapprocher les fers de même nature dans les paquets, soit pour rails, soit pour couvertes, pour arriver à obtenir des soudures complètes; mais c'est, je crois, se faire illusion que de compter sur la présence du nerf ou du grain dans les cassures, pour vérifier l'homogénéité des fers. La structure à grain ou à nerf ne dépend pas directement et uniquement de la composition chimique : on sait fort bien aujourd'hui que des artifices très-simples dans le traitement métallurgique et mécanique, ou même des tours de main dans l'opération de la rupture, permettent d'obtenir, presque à volonté, ces deux genres de structures dans la cassure d'un même fer. Je ne conteste pas cependant que l'aspect de la cassure ne suffise pas à un praticien exercé pour juger de l'homogénéité plus ou moins grande de deux fers soumis à son appréciation; mais c'est sur d'autres indices que le jugement se base, tels que la couleur, l'éclat, la finesse plus ou moins grande du grain, etc. Quant à la présence du grain ou du nerf, c'est un renseignement, je le répète, très-sujet à caution.

Cette réserve faite, je ne puis qu'approuver dans tous ses détails la remarquable communication que nous a faite M. Alquié. C'est certainement l'ensemble de renseignements pratiques le plus complet et le plus instructif qu'on ait jamais réuni sur la

question de la fabrication des rails. Je crois ne rien exagérer en disant que les forges et les Compagnies de chemin de fer françaises sont appelées à en tirer le plus grand fruit.

Il est ensuite donné lecture d'une note de M. Sieber, qui traite également la question de fabrication des rails. Cette note sera imprimée *in extenso* dans le Bulletin du troisième trimestre.

M. Ivan Flachat donne lecture d'une note sur le *Lavoir à Charbon*, de M. Forey, membre de la Société, directeur des hauts fourneaux de Montluçon, et des services extérieurs de la mine de Commentry. Cet appareil, dont le dessin et la description seront insérés au Bulletin, est à proprement parler le *bac à piston* ou *caisse à piston*, si répandu sur toutes les houillères, mais perfectionné assez heureusement pour obtenir couramment l'excellent lavage que peut donner cet appareil, à un prix voisin de 10 centimes par tonne de charbon lavé, au lieu de 37 à 40 centimes qu'exige le lavage aux bacs mus par la vapeur. En obtenant un travail continu, au lieu d'un travail intermittent, la production est devenue environ quinze fois plus considérable, et on lave, à Commentry, 160 tonnes par jour à chaque lavoir.

M. Ivan Flachat compare le nouveau lavoir à l'ancien, et dit que le bac à piston exige une grande surveillance; car le charbon, les schistes et les boues doivent être péniblement enlevés à la pelle, et l'ouvrier recule le moment de toucher aux schistes au point d'attendre souvent que la couche de schistes pénètre dans celle du charbon lavé; le lavage est alors à refaire. Lorsque le travail est régulier, l'ouvrier doit séparer les matières qu'il enlève à la pelle; à la partie supérieure sont les charbons les plus purs; à la partie inférieure, les schistes les plus impurs; et la partie intermédiaire, incomplétement lavée, est mise de côté pour être reprise à l'opération suivante.

Avec le lavoir de M. Forey, l'ouvrier appuie simplement la main sur un levier, pour que les schistes s'écoulent par leur propre poids et par la couche inférieure, les parties moyennes restent d'elles-mêmes sur la grille. Il y a donc grande économie de temps et de main-d'œuvre, et sécurité du côté de la perfection du travail. En outre, dans le bac, le frottement de la pelle contre les grilles, en cuivre ou en laiton, suivant l'acidité des eaux, est une cause de détérioration très-rapide. Le travail à la pelle étant supprimé, une seule grille suffit, et l'enlèvement du charbon, des schistes et des boues, se fait par trois issues différentes, sans dommage pour elle, et sans arrêter le lavage. Toutes les parties exposées à être corrodées par les eaux acides sont en bois; aussi, les frais d'entretien sont presque nuls et les frais d'établissement peu coûteux.

La force absorbée est estimée à trois chevaux environ par machine; la consommation d'eau à 6 ou 7 mètres cubes par heure, ou le tiers du poids de la houille, mais on peut faire servir plusieurs fois la même eau. La dépense quotidienne est d'environ 15 à 18 francs, suivant le nombre des lavoirs, auxquels suffit un seul mécanicien, ce qui correspond, pour une production de 160 tonnes, à 0f,10 c. environ par tonne. Au point de vue du capital engagé, les bacs à piston coûtent 500 à 600 fr., et produisent 10 tonnes par jour. La même proportion conduirait à un chiffre de huit mille à dix mille francs pour les appareils nouveaux. Comme leur prix est inférieur, la comparaison est encore en faveur de ceux-ci.

Séance du 2 Septembre 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. LE PRÉSIDENT fait part à l'Assemblée des promotions et nominations ci-après dans l'ordre de la Légion-d'honneur : M. Émile Péreire, membre associé de la Société, élevé au grade de commandeur; MM. Mony et Chevandier, membres sociétaires, MM. Davillier et Isaac Péreire, tous deux membres associés, au grade d'officiers; MM. Cauvet, Du Pan, Flaud, Forey et Martin (Léon), comme chevaliers.

M. CH. CALLON rend compte de la notice présentée par M. Maurice Picard, membre de la Société, sur le procédé de MM. Minary et Soudry, pour l'utilisation des scories de forges.

Cette notice est plutôt relative à l'exposé théorique du procédé qu'à l'énoncé de ses résultats pratiques; mais M. Picard annonce qu'elle sera suivie prochainement d'un mémoire étendu qui présentera les tableaux de la marche ordinaire d'un haut fourneau, avec ou sans addition de scories crues dans le lit de fusion, comparée avec la marche obtenue par l'emploi de ce qu'il appelle le *coke-scorie;* on verra tout à l'heure pourquoi.

M. Picard commence par établir l'importance de la question en rappelant : 1° que les scories de feux d'affinerie, de fours à puddler et à réchauffer, les batitures de cylindres et de marteaux, constituent un minerai dont la richesse varie de 40 à 70 p. 100; 2° que la masse des scories produites par une usine s'élève à 30 ou 40 p. 100 de la quantité de fers finis qu'elle fabrique.

Il expose ensuite que jusqu'à présent l'on n'a pu utiliser en pratique qu'une faible fraction de ces produits, en raison même du mode suivi pour cela. Ce mode, en effet, consiste à traiter ces scories comme des minerais, c'est-à-dire à les jeter simplement dans le gueulard, sans autre préparation qu'un cassage grossier.

Mais la scorie, malgré les grandes variations de sa composition, n'étant en définitive qu'un *silicate de protoxyde de fer fusible vers* 500 *degrés*, il arrive qu'à peine introduite dans le fourneau, elle fond et descend rapidement jusque dans la région des tuyères.

Dès lors, sous l'influence *de la haute température* qui existe dans cette région, une portion de cette scorie s'ajoute au laitier normal, et, en vertu de la silice et du protoxyde de fer qu'elle lui apporte, le rend *très-décarburant*. Cette portion est donc perdue. L'autre portion de scorie *se décompose* et cède à la fonte l'oxyde de fer qu'elle renferme, en même temps que le silicium et les autres substances nuisibles. Ainsi, l'on obtient une fonte *blanche, siliceuse* et de *qualité inférieure*.

Cette méthode ne peut donc trouver sa place que dans des cas particuliers, et elle doit être rejetée toutes les fois qu'on vise à obtenir soit des fontes grises ou de moulage, soit des fers de bonne qualité.

Supposons maintenant que la scorie soit soumise, avant son introduction dans le haut fourneau, à des conditions *inverses* de celles que réalise le haut fourneau, c'est-à-dire qu'elle soit soumise :

1° A un contact prolongé avec le combustible ;
2° A un feu lent et modéré.

Alors le résultat sera aussi bien différent.

En effet, prenons de la houille bien pulvérisée ; mélangeons-la avec des scories également bien pulvérisées, et introduisons le tout dans un four à coke ordinaire. Les silicates étant réductibles au rouge par le charbon, leur décomposition aura lieu ; les oxydes de fer abandonneront leur oxygène au gaz hydrogène carboné qui se dégage ; tout le fer sera donc réduit et éprouvera même un commencement de carburation en présence de cet agent si énergique (l'hydrogène carboné) ; mais la silice, à cette température relativement basse, restera sans action sur le métal.

Ainsi, l'effet absolument inverse de celui produit au haut fourneau aura lieu. Tout le fer de la scorie sera réduit ; ce fer éprouvera même un commencement de carburation ; mais il sera *industriellement* pur ; c'est-à-dire qu'il ne contiendra :

Ni *silicium*, par la raison déjà donnée ;

Ni *phosphore et soufre*, parce que ces corps seront entraînés par le gaz hydro-carboné à l'état d'hydrogènes phosphoré et sulfuré. Par conséquent, ce *coke-scorie*, introduit dans le haut fourneau, devra donner une fonte grise et de bonne qualité, une allure relativement chaude, etc.

La houille et la scorie doivent être mélangées dans une proportion variable. Cette proportion peut être déterminée par le calcul, en se donnant la composition de la scorie et en se posant la condition que les gaz de la distillation suffisent seuls à la réduction de la scorie. M. Picard en donne un exemple dans sa notice, et trouve que les gaz suffiraient à la réduction en faisant le mélange suivant :

60 scorie
40 houille } en nombre rond.

Mais, dans la pratique, le coke ainsi obtenu serait trop friable ; on doit donc considérer le résultat du calcul comme une limite dont on se rapprochera plus ou moins sans l'atteindre ; et, en effet, M. Picard nous a déclaré que la proportion doit varier, selon lui, pour cent du mélange, entre : 20 de scorie pour 80 de houille : et 50 de scorie pour 50 de houille.

D'excellents résultats ont été obtenus à Givors avec 40 de scorie et 60 de houille moyennement grasse.

Nous avons dit que la scorie devait être pulvérisée. Il est important que cette opération préalable soit faite avec le moins de frais possible. M. Picard indique, comme moyen économique de pulvérisation de la scorie, son *immersion* dans l'eau froide qui l'*étonne* et la dispose à être facilement écrasée aux cylindres. Il estime la dépense de cette opération à 75 c. ou 1 fr. seulement par tonne de scorie.

Enfin, sans entrer quant à présent dans l'exposé détaillé des applications en grand, M. Picard indique que des expériences satisfaisantes ont eu lieu, dans une usine du Jura, sur un lot d'environ 1,000 tonnes de scorie, et que plusieurs établissements, en France et à l'étranger, s'organisent pour utiliser par le procédé Minary et Soudry la masse de scorie qu'ils produisent.

Il est à désirer, selon nous, que M. Picard réalise la promesse qu'il veut bien nous

faire, de nous tenir au courant de ses travaux ultérieurs sur cette intéressante question de métallurgie.

M. le Président remercie M. Ch. Callon de cette intéressante communication.

M. Richoux donne ensuite communication d'une note sur la presse sterhydraulique de MM. Desgoffe et Ollivier.

Les usages de la presse hydraulique sont excessivement nombreux, et il nous suffira de rappeler les plus récents, tels que le moulage de la sciure de bois ou bois durci, la fabrication des agglomérés, le forgeage du fer[1], pour faire comprendre l'importance qu'on doit attacher à tout perfectionnement de ce puissant outil.

Si les applications de la presse hydraulique sont susceptibles d'un grand développement, les inconvénients qu'elle présente sont assez sérieux. Le maximum de vitesse qu'on peut donner à ses pompes ne peut guère dépasser 30 à 40 coups par minute, et à cette vitesse la fermeture des clapets donne lieu à des chocs qui contribuent pour une large part aux fréquentes ruptures des tuyaux et des corps de presse.

L'entretien des pompes est difficile et coûteux; les cuirs, durcis par l'eau, ont besoin d'être fréquemment remplacés.

La faible vitesse des pompes nécessite l'emploi d'accumulateurs ou réservoirs de pression, dont le rendement, à cause des fuites, peut, dans certains cas, descendre à 30 p. 100.

Supprimer les pompes, c'est donc faire disparaître la majeure partie des inconvénients de la presse hydraulique. C'est cette suppression que MM. Desgoffe et Ollivier ont pu réaliser par une disposition d'une ingénieuse et remarquable simplicité.

Dans la presse hydraulique ordinaire, l'avancement du piston et la compression résultent de l'introduction d'un liquide dans le corps de presse. Dès que le corps de presse est rempli, la veine fluide qui entre peut se solidifier sans que les conditions qui produisent le mouvement du piston ou la compression se trouvent changées.

On peut donc faire fonctionner l'appareil sans recourir aux pompes, et pour cela il suffit d'emmagasiner dans le corps de presse, plein de liquide, un corps solide, une corde, par exemple. Telle est l'idée fondamentale de la presse sterhydraulique de MM. Desgoffe et Ollivier. Leur appareil consiste en un corps de presse hydraulique ordinaire plein d'huile, renfermant une poulie ou bobine sur laquelle s'attache l'extrémité d'une corde à boyau; l'axe de cette bobine traverse le corps de pompe et reçoit une manivelle qui sert à enrouler la corde et à produire la pression; l'autre extrémité de la corde est attachée sur une seconde bobine fixée au corps de presse, mais à l'extérieur. Cette bobine a un diamètre plus grand que la bobine intérieure, de telle sorte que la vitesse de sortie de la corde, c'est-à-dire que le mouvement de recul du piston puisse s'opérer plus vite que son avance sous pression. La corde pénètre dans le corps de presse par une ouverture munie d'un stuffing-box garni d'étoupes.

Afin de faciliter le passage de la corde et d'empêcher son frottement sur le métal, les extrémités du stuffing-box sont évasées; de plus, la bague en bronze formant généralement le fond des presse-étoupes, est remplacée par une bague en cuir embouti

1. L'emploi de la presse hydraulique pour le soudage et le forgeage du fer a été indiqué et expérimenté pour la première fois par M. Benoit-Duportail, Membre de la Société. La compagnie des chemins de fer autrichiens, a depuis mis ce procédé en pratique dans ses ateliers de construction de machines, et a obtenu de grands avantages.

de même forme. Par ce dispositif, on a pu parer complètement aux inconvénients qui paraissent devoir résulter du changement de direction que prend la corde au fur et à mesure de son enroulement sur la bobine.

Une presse ainsi construite fonctionne depuis huit mois, sans qu'on ait eu ni à remplacer la corde à boyau, ni à changer la garniture du presse-étoupes. A ce premier dispositif de leur presse, MM. Desgoffe et Ollivier substituent le suivant, lorsque le volume de liquide à fournir pour obtenir la marche du piston devient un peu considérable.

Les bobines, séparées du corps de presse, sont reliées comme précédemment par une corde à boyau, et placées chacune dans un réservoir plein d'huile. Les réservoirs contenant les bobines communiquent entre eux et avec le corps de presse; mais ils en sont séparés par une soupape de refoulement de forme conique reposant sur un cuir embouti de Brameh. Chaque réservoir possède, en outre, une soupape d'aspiration placée à la partie supérieure d'un tuyau plongeant dans un bain d'huile, qui fournira le liquide à refouler dans le corps de presse.

Ces deux réservoirs et leurs soupapes constituent deux pompes foulantes à simple effet, travaillant alternativement, mais ayant des pistons plongeurs constitués de manière à fournir une course dont la longueur n'est limitée que par les dimensions de la bobine sur laquelle s'enroule la corde à boyau.

Le mouvement alternatif des pistons s'obtient en alternant le sens du mouvement des bobines.

On voit par cette description que la presse sterhydraulique de MM. Desgoffe et Ollivier a les avantages suivants :

Elle évite les mouvements vibratoires produits par le choc régulier des soupapes des pompes ordinaires;

Les soupapes fonctionnant moins souvent et les cuirs employés pour en faire le siége plongeant dans l'huile, ne durcissent plus, ce qui en augmente la durée. La corde à boyau employée comme piston n'est pas soumise aux causes d'usure et de fuites qui rendent si difficile l'entretien des pistons métalliques;

L'avance du piston, au lieu d'être limitée par le nombre de coups de piston que peut fournir une pompe dans un temps donné, n'a d'autre limite que la vitesse qu'on peut imprimer aux bobines;

L'avance du piston a lieu d'un mouvement uniforme, continu, aussi rapide ou aussi lent qu'on peut le désirer.

M. Bureau demande si, en cas de rupture de la corde à boyau, il est possible de faire une épissure qui semble ne pas pouvoir passer dans le stuffing-box, s'il est suffisamment serré pour qu'il n'y ait pas de fuite; M. Bureau désirerait aussi savoir le prix des appareils, et enfin comment on retire la corde de dedans le cylindre.

M. Desgoffe répond que le prix des appareils est faible, parce qu'ils sont petits et d'une exécution facile.

En ce qui concerne les épissures, M. Desgoffe ne doute pas qu'elles soient possibles, parce qu'il y a assez de jeu dans la bague en cuir qui complète le stuffing-box, la corde se calibre dans le presse-étoupes; d'ailleurs, depuis que les presses sterhydrauliques ont été mises en usage, il n'y a pas encore eu rupture de la corde à boyau, qui est susceptible de supporter un effort de 25 kilog. par millimètre carré, et qui dans l'appareil n'a qu'un effort de 3 kilog.

M. Desgoffe fait remarquer que pour retirer la corde à boyau du cylindre, la poulie

extérieure est beaucoup plus grande que la poulie intérieure, de sorte que le déroulement a lieu dans un temps relativement court.

M. Tresca est d'avis que la presse sterhydraulique de MM. Desgoffe et Ollivier est susceptible de rendre des services dans un certain nombre de cas, par exemple pour l'essai des matériaux, à cause de la continuité d'action.

Dans quelques jours, on fera au Conservatoire des essais pour l'écrasement des pierres, et les membres de la Société pourront voir fonctionner une de ces presses.

M. Ch. Callon fait observer que, dans la presse sterhydraulique, il est nécessaire d'employer l'huile pour transmettre la pression, parce que l'on utilise la corde à boyau; dans les huileries, on emploie l'huile parce qu'on en a à sa disposition, et que l'huile conserve bien les cuirs de la presse et ceux de la pompe, en même temps qu'elle diminue les frottements.

M. Baüll craint que la presse sterhydraulique ne se prête pas, comme la presse hydraulique ordinaire, à obtenir au commencement d'une opération une plus grande vitesse du plateau de la presse qu'à la fin.

M. Desgoffe fait observer que l'on peut avoir des vitesses différentes en disposant plusieurs poulies à l'intérieur de la capacité qui communique avec le dessous du plateau, et en faisant marcher à la fois plusieurs de ces poulies.

M. Baüll donne lecture de sa note sur l'inauguration du chemin de fer du nord de l'Espagne.

Le chemin de fer du nord de l'Espagne réunit Irun à Madrid, avec embranchement vers Santander. Il a 729 kilom. de long. Il traverse deux chaînes de montagnes très-élevées : les Pyrénées et le Guadarrama. Les deux sections qui franchissent ces chaînes présentent des travaux importants et difficiles.

L'un, de 71 kilom. de longueur, la traversée du Guadarrama, a toutes ses tranchées et ses tunnels ouverts dans les granits les plus durs. La poudre et l'acier, employés à la façon ordinaire, ne donnant presque aucun résultat, on a eu recours à l'emploi de grandes chambres de mines creusées à une grande profondeur, et dont l'explosion détachait jusqu'à 17,000 mètres cubes de roches en une seule fois. Pour hâter l'achèvement de ces travaux, on a organisé dix chantiers de nuit éclairés par la lumière électrique.

L'autre traversée de montagnes, celle des Pyrénées, a 46 kilom. de long; certaines portions de ses vingt-cinq souterrains, presque toutes ses tranchées profondes traversent des terrains ébouleux; les remblais sont posés sur cette base incertaine. Ce n'est qu'au prix de travaux d'assainissement les plus importants qu'on a pu fixer ces masses mobiles. C'est la maison E. Gouin et Cᵉ qui a exécuté, en peu de temps et à travers les plus grandes difficultés, ces remarquables travaux.

M. Baüll donne quelques renseignements géographiques sur la région traversée; il indique la division en vallées, la nature géologique des terrains, l'importance agricole ou industrielle des différentes provinces, le commerce des divers ports du nord de l'Espagne.

Il termine en appelant l'attention sur le développement industriel qu'amènera la continuation du chemin de fer et sur l'heureuse influence qu'il exercera sur la prospérité de l'Espagne.

ÉTUDE

SUR

L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL

LETTRE ADRESSÉE A LA COMMISSION CHARGÉE DE L'EXAMEN DE CETTE QUESTION,

PAR M. EUGÈNE FLACHAT.

La Société des Ingénieurs civils a invité ses membres à lui apporter leur concours dans l'étude de la question de l'enseignement professionnel. Il dépend de tous que cette question, de nouveau soulevée aujourd'hui, ne retombe plus dans l'oubli. Pour cela il faut en démontrer l'importance et l'opportunité, s'accorder sur une solution et se mettre à l'œuvre, s'il est possible.

I

IMPORTANCE ET OPPORTUNITÉ DE L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL.

Il est incontestable que jamais, à aucune autre époque, l'étude et le travail n'ont pris une plus grande part dans la vie humaine; jamais ils n'ont été plus généralement nécessaires, parce que la progression de l'activité générale n'a jamais été plus rapide. Jamais, enfin, il n'a été mieux démontré par le passé et le présent, que, loin d'aspirer à faire un pas en arrière, vers le repos, les hommes multiplient leurs efforts, scrutent la science et lui demandent, à la fois, ce qui peut tourner au profit de leur bien-être, et ce qui peut les élever aux plus hautes régions des spéculations philosophiques. Il est également certain que la grande majorité des pères de famille fait servir ses épargnes, en première ligne, à l'instruction des enfants et que, cependant, faute d'une bonne direction, l'instruction ne conduit pas à une profession. Cela est vrai à tous les étages de la société.

Qu'on nous pardonne ce mot d'*étages*. Nous pourrions dire *classes*. C'est l'appellation consacrée ; mais elle est moins vraie, au point de vue des conditions sociales, qu'au point de vue politique.

La noblesse voit le repos, l'inactivité, amoindrir chaque jour son patrimoine; elle en veut sortir parce qu'elle désire conserver l'ascendant moral que donnent une grande position de fortune et une forte instruction.

Mais, pour les études qui conduisent aux fonctions politiques, telles que la diplomatie et l'administration, ou au culte de la science pure d'où sortent les savants, ou aux professions agricoles, directions éminemment propres à élever l'esprit et à entretenir le feu sacré de l'honneur d'un nom ancien et respecté, la *noblesse*, ne trouve pour ses enfants aucun moyen d'instruction professionnelle préparatoire. Un seul chemin s'offre à sa jeunesse. C'est l'enseignement universitaire, c'est-à-dire littéraire. Il se termine quand déjà le tiers de la vie moyenne, vingt ans sur soixante, est écoulé, et ce chemin aboutit, pour la plupart, à un fossé infranchissable autrement que par l'obtention de places dans l'Administration.

La bourgeoisie est, relativement, encore plus dépourvue de moyens d'enseignement professionnel. Ses enfants trouvent quelques rares écoles préparatoires, battues en brèche par l'insuffisance de direction scientifique dans l'enseignement universitaire. Cet enseignement, puissamment organisé dans un privilége, ne comprend l'étude que d'une seule manière, *les lettres*. Et puis, il favorise les grandes villes, néglige les champs, et entoure partout de difficultés l'enseignement en famille.

Le clergé n'a pas une école scientifique préparatoire, et tous les jours il descend, par le manque d'instruction, les degrés de la condition sociale où il a trôné si magnifiquement dans le moyen âge.

L'artisan, l'ouvrier des villes n'ont acquis dans leur enfance que des notions incomplètes, qui ne leur apportent qu'une aide insuffisante dans les moyens de gagner leur vie. Ceux qui ont appris à lire lisent les mots avec tant de difficulté qu'ils ne peuvent saisir la phrase ; ceux qui saisissent la phrase sont arrêtés par les mots qui n'entrent pas dans le langage usuel. Aucun ne sait lire à haute voix, d'une manière intelligible, claire et instructive. L'apprentissage apprend, à force d'années, le maniement de l'outil, le procédé, mais rien au delà, rien surtout qui puisse permettre aux ouvriers et aux artisans de profiter des dons moraux de leur nature pour agrandir rapidement leur sphère de notions et de travail. L'enseignement est si restreint qu'il faut, au *manœuvre* adulte le plus intelligent, des mois et des années pour devenir couvreur ou maçon, ou menuisier, ajusteur, etc. Le maçon ne peut pas, faute d'instruction, changer d'état, sinon pour descendre à un salaire inférieur à celui de sa profession. Il devient terrassier ou manœuvre; encore est-il longtemps malhabile.

Le paysan est surtout à plaindre ; son inaptitude, résultat de son manque absolu d'instruction, a laissé l'agriculture dans l'enfance. C'est faute

d'enseignement professionnel que la vie tout entière du paysan suffit à peine pour le conduire à l'expérience.

Est-il, en France, un paysan qui sache la raison de l'assolement, la nature de l'engrais, les sels que les diverses plantes enlèvent à la terre? en est-il un qui pourrait niveler son champ pour l'arrosage ou le drainage, et le mesurer?

Le paysan ne sait pas lire, il ne sait pas écrire, il ne sait pas compter, il ne sait pas peser, et sa vie se passe à regarder, sans pouvoir se rendre raison des lois naturelles, parce que le rideau de l'ignorance est tiré sur lui; c'est le néant qu'il regarde; il dort éveillé. Quand il quitte les champs pour venir travailler dans les villes, il s'engage comme manœuvre. Sa force musculaire seule lui est payée; il est emprunté, gauche, maladroit; il s'expose, se blesse, se décourage souvent.

Le soldat n'apprend au corps rien qui le ramène et l'utilise aux champs; il sait lire, quelquefois compter, il est alerte, propre, souvent doux, rangé, son esprit lui sert : il se sent trop au-dessus du paysan pour retourner aux champs; il cherche les villes où l'attire l'élévation du salaire; il y devient bon domestique, parce qu'il n'a pas appris les éléments précis d'une profession, d'un métier. Que de temps perdu par le paysan et par le soldat dans les longues heures d'inaction ou de repos. S'ils savaient vraiment lire, s'il existait des livres d'enseignement professionnel, ces deux classes d'hommes fourniraient à la main-d'œuvre de l'industrie, de l'art et de l'agriculture, ses plus grands éléments d'activité, car tous deux ont beaucoup de temps à consacrer à l'étude.

On le voit : l'enseignement professionnel, qui est la source même de l'activité humaine, comme sa conséquence est la rapidité du développement moral, cet enseignement fait défaut à toutes les conditions. On dit que la France est plus en retard que les autres pays à cet égard. Je ne sais pas si cela est vrai. On prétend que l'Angleterre est plus avancée que nous. Cela je le nie. Plusieurs d'entre nous ont été témoins de crises terribles sur le travail dans ce pays. Celle qui a dépeuplé l'Irlande n'en a fait sortir que des manœuvres n'ayant pas la moindre notion propre à les aider dans l'exercice d'un métier. Ils sont restés de misérables ouvriers. Leur ignorance était incroyable. Nous avons assisté aussi aux crises qui laissaient sans ouvrage les ouvriers des mines ou des établissements métallurgiques; jamais ces crises n'ont été amoindries par le passage de ces ouvriers à une autre profession dans laquelle le travail était demandé.

De nos jours, la crise cotonnière a laissé des centaines de mille hommes sans moyens suffisants d'existence. Cependant, à quelques pas de Preston, de Manchester et des grands centres de factorerie, sur la Clyde, par exemple, et dans tous les chantiers de marine, le travail était demandé à la plus facile des professions, celle des riveurs du bordé des navires en fer; il y avait à la fois manque de bras, affluence de commandes, coalitions, élévation des salaires et tout ce qu'amène l'insuffisance de bras,

et cela dure depuis deux ans. Cinquante mille ouvriers riveurs sur la Clyde, deux cent mille répandus dans les autres chantiers de construction maritime eussent à peine suffi à maintenir le taux des salaires et à exécuter les commandes en temps utile : mais il eût fallu pour cela, aux ouvriers anglais, ces notions professionnelles qui tendent le ressort de l'intelligence et donnent à l'homme le sentiment de sa force en lui montrant en lui-même des ressources toutes prêtes.

Or, dans le même moment, un de ces mêmes constructeurs de la Clyde (qui souffre chez lui, faute de bras dans la profession la plus facile, tandis qu'à quelques heures de ses ateliers, des milliers d'ouvriers vivent de la charité publique), ce même constructeur fondait en France un chantier du même genre, il y manquait absolument d'ouvriers spéciaux. Il fait alors appel à toutes les professions; des manœuvres, des boulangers, des tailleurs affluent, car l'ouvrage manque dans les villes voisines ou dans les campagnes, et, *en six mois*, plus d'un millier d'hommes ont trouvé un salaire élevé et ils ont acquis une profession de plus qui les occupera plusieurs années.

Lequel des deux pays est le plus avancé?

En Angleterre, l'ouvrier est une machine. Du premier jour de son apprentissage au dernier jour de sa vie, il fait partie d'une manufacture au même titre qu'un outil. Cet outil est spécial à une sorte de travail; il exécute toujours la même main-d'œuvre, le même objet. Quand une fois il a acquis le mouvement machinal qui est la limite de l'adresse et de l'activité appliquées à la fabrication de cet objet, le but est atteint, il ne peut être dépassé; cet ouvrier est un parfait mécanisme, et le pays s'en vante, car le principe de la division du travail triomphe. Cet homme fera toute sa vie des têtes d'épingle; ses enfants mêmes seront dressés à cela, et si l'ouvrage suffit, ils ne feront que cela. Et puis, alors que l'ouvrier est arrivé à la perfection mécanique, c'est-à-dire qu'il ne travaille plus que machinalement, l'attrait du travail disparaît pour lui, le cercle de ses aspirations se rétrécit chaque jour, l'intelligence s'éteint, l'esprit s'abrutit, le corps lui-même se déforme et dépérit; il ne reste de l'homme qu'une forme épuisée et une âme désespérée.

Supposez la vie entière de cet ouvrier bien occupée : supposez-le toujours exempt de maladies et de vices, son plus grand bonheur aura été de suffire par son salaire à sa nourriture et à son entretien; rarement d'épargner de quoi acheter son mobilier; plus rarement d'acheter une maison; plus rarement encore de nourrir sa femme et ses enfants sans que celle-ci soit obligée de travailler comme lui; presque jamais de pouvoir soutenir son père ou sa mère. Jamais il ne pourra donner à ses enfants d'autre enseignement que celui de l'école publique. Jamais il ne pourra conserver une épargne pour sa vieillesse, jamais, enfin, il n'aura une perspective de repos, et tout cela parce que, dans l'enfance et la première jeunesse de cet homme, l'enseignement qu'il a reçu a été insuffi-

sant pour le mettre à même, devenu adulte, d'étudier la théorie des métiers et des professions dans lesquelles l'intelligence a la plus grande part, et où les forces physiques et le maniement de l'outil ont la plus petite.

II

BUT DE L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL.

Il faut étudier ou travailler par sentiment du bien à faire; il le faut pour soutenir l'honneur de sa famille; il le faut pour devenir riche; il le faut pour conserver ce que l'on a acquis ou ce dont on a hérité; il le faut au moins pour gagner sa vie, pour entretenir et abriter sa famille, pour instruire ses enfants, soutenir son père et sa mère, garder quelques épargnes pour la vieillesse, et ce but ne peut être atteint que par une profession.

Plus la profession est d'un ordre élevé, plus elle exige d'études, de temps et de sacrifices. Moins alors on peut en changer; de là la nécessité que les études soient fortes, et pour cela il faut que l'enseignement préparatoire ne fasse pas fausse route. Des écoles spéciales répondent au besoin des classes aisées à cet égard; mais outre le défaut capital de leur trop petit nombre et de leur insuffisance, elles sont gâtées dans leur germe par la même cause, c'est la mauvaise direction donnée au premier enseignement, qui fait à la science une trop petite part.

Plus la profession s'abaisse dans l'ordre des notions théoriques et manuelles qu'elle exige, plus aussi ces notions intéressent directement les besoins absolus de la vie, les nécessités impérieuses de l'existence; plus il faut alors de ressources à celui dont le seul avoir consiste dans les notions exigées pour ces professions, afin qu'il puisse trouver, dans le cercle malheureusement variable du travail, le moyen de se rendre utile. Il faut que le jour vienne où la société ne puisse s'en prendre qu'à elle-même des souffrances matérielles, qu'on appelle la misère, et qui peuvent résulter de l'arrêt d'une industrie. Il faut que l'Angleterre comprenne que l'enseignement professionnel est complétement oublié chez elle, lorsqu'au même moment où cent mille familles d'ouvriers cotonniers souffrent de la faim, les bras manquent dans les usines métallurgiques, les mines et les chantiers de construction maritime. Tous les hommes qui connaissent les diverses professions ouvrières savent bien que si l'instruction générale était suffisante chez l'ouvrier, il pourrait facilement changer en quelques mois de profession et exceller dans plusieurs.

Le but est donc, pour les classes aisées, d'acquérir par le premier enseignement assez de science pour que les plus grands pas soient faits

avant d'entrer dans l'école préparatoire spéciale à la profession qu'on choisira.

Pour les classes d'artisans, d'ouvriers ou de paysans, le but est d'acquérir par le premier enseignement toutes les notions propres à faciliter l'*étude* préparatoire non-seulement d'un métier, mais de plusieurs métiers, afin d'en pouvoir changer à tout âge, suivant que la nature du travail agricole ou industriel se modifie.

Nous avons dit le but, examinons le moyen.

III

MOYENS DE RÉPANDRE L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL AU PREMIER AGE.

Répandre l'enseignement professionnel n'est pas l'expression complète de notre pensée. Le devoir de la société est de le *servir* à ses membres, comme elle sert la nourriture à ceux qui ont faim ; c'est même l'*imposer*, qu'il faut dire.

Déjà le sentiment public abaisse, sous le poids de son indifférence, les hommes les mieux élevés qui ne savent rien faire d'eux-mêmes ; il impose à tout individu le devoir d'être instruit dans la limite, d'abord, de ce qui lui est indispensable pour lui-même, et puis de ce qui peut être utile à autrui. En échange des avantages qu'elle lui apporte et des droits qu'elle lui donne, la société lui crée ce devoir. Elle méprise l'ignorance volontaire et fait de celle-ci une des causes les plus légitimes de l'inégalité des conditions.

Si la société doit s'imposer à elle-même d'enseigner les professions et les métiers, pour avoir le droit d'exiger moralement que chacun puisse prendre part au travail avec une aptitude suffisante à le faire vivre, il faut, pour en étudier le moyen, définir d'abord ce que doit être cet enseignement.

Le premier enseignement doit se rapporter, soit à la profession, soit au métier par des points communs. Ils devient distinct pour l'une ou pour l'autre à partir de la préparation spéciale.

Cette part commune, c'est, ou ce doit être, l'enseignement primaire; c'est la plus importante, heureusement la plus facile à donner, ajoutons que c'est la plus mal comprise. Il y a là un fait bien extraordinaire qui semble une rare inconséquence. Des livres que l'enfant a sous les yeux, celui de la nature et ceux de l'école, c'est le plus facile à étudier, le plus simple, le plus attrayant, celui qui, seul, lui fait comprendre de suite l'intérêt de l'étude, c'est celui-là qui est expressément fermé pour lui. Lui apprendre les faits qui se rapportent à tout ce qu'il touche, à tout ce qu'il voit, à tout ce qu'il entend, à tout ce qui végète et à ce qui vit

autour de lui dans la nature, semble être la première loi de l'enseignement primaire. De celle-là, cependant, il n'en est pas question. Il y a plus, ces notions élémentaires ne sont pas exigées pour le maître. Infuser la science de la nature par les faits élémentaires, la plupart visibles, que la mémoire s'approprie à cet âge avec une merveilleuse élasticité, n'est-ce pas semer d'autant plus fructueusement que le temps et la réflexion amèneront, tous les jours davantage, la connaissance des rapports et que l'esprit pourra de lui-même se rendre raison des faits sans la demander à l'étude? N'est-ce pas habituer de bonne heure l'esprit à observer et, par conséquent, à réfléchir?

Pourquoi donc cela est-il si complétement négligé, oublié? C'est parce que les avantages de l'instruction scientifique ne s'étaient pas encore révélés; qu'elle n'a été longtemps considérée que comme un accessoire; comme un instrument inutile aux classes à métiers; et parce que le programme universitaire, qui dédaigne la science, a toujours dominé, sinon d'autorité, au moins d'influence et de fait, dans la direction de l'enseignement primaire aussi bien que dans l'enseignement secondaire.

La devise de notre Société d'Ingénieurs est, à mon sens, le magnifique résumé du but de l'enseignement professionnel. « Faire servir toutes les forces de la nature au bien-être de l'humanité, » n'est-ce pas là aussi le programme que devrait avoir en vue la société pour diriger l'homme dès son premier âge?

Un des moyens sera donc d'apprendre à l'enfant les faits naturels plus faciles à retenir pour lui que l'alphabet et que les chiffres; d'y faire contribuer ses récréations, son repos, en éclairant sa jeune existence sur ce qui est en contact avec lui. Choisissons dans l'histoire naturelle, dans la physique, la chimie, l'astronomie, la géométrie même, tout ce qui est perceptible pour le jeune âge. Qu'un luxe de démonstrations par les expériences, les gravures, les modèles, l'achemine insensiblement à la connaissance des grandes lois dont il n'a pas le moindre sentiment durant sa vie, parce que rien n'a été, de bonne heure, éveillé en lui dans cette direction.

Joignons à cela l'usage de tous les outils qu'un enfant peut manier quand il a atteint l'âge de huit ans. Nous avons des concours et des jeux floraux pour le travail de la charrue; ayons des concours sur l'usage de la pelle, de la pioche, des outils d'agriculture, du charpentier, du menuisier, du forgeron; qu'à chaque école de village soit adjoint un atelier, et que le concours soit ouvert jusqu'à l'âge de quinze ans. Que le premier champ à faucher soit, tous les ans, l'occasion pour les jeunes gens de se montrer aussi habiles que leurs pères et plus versés qu'eux, et plus tôt, dans l'usage des divers outils.

Quant à l'enseignement actuel, la nécessité de le pousser plus loin comme habitude de s'en servir, est maintenant démontrée. Ce n'est pas savoir lire, calculer, écrire, que de faire tout cela avec une extrême diffi-

culté, avec une tension d'esprit qui éloigne d'en faire usage autrement que dans les rares occasions où cela est indispensable. Il faut savoir lire pour soi et pour les autres, comme on sait marcher, courir : sans plus de fatigue : de manière à n'y donner d'attention que par la pensée dirigée vers la signification de ce qu'on lit, au lieu de se tendre l'esprit à mettre les lettres dans les syllabes, les syllabes dans les mots, et les mots dans la phrase, oubliant de celle-ci, quand on l'achève, les mots qui l'ont commencée.

Tel est le vrai, le seul point de départ de l'enseignement professionnel, la préparation de l'enfant. Le succès de ce moyen dépend des ressources à y consacrer en argent, du temps nécessaire pour former l'élève, et de son assistance à l'école.

Il n'y a pas, il ne doit pas y avoir, à ces trois points de vue, l'ombre d'une objection morale. L'argent le mieux employé est celui qui sert à l'instruction morale, scientifique et littéraire. Le temps à y consacrer est de préférence celui où l'intelligence commence à guider les facultés de perception que Dieu a mises en nous; l'instruction est une substance qui doit être toujours donnée à l'esprit dès qu'il est apte à la recevoir et dans la mesure de cette aptitude. Or, comme l'aptitude est essentiellement variable, il faut que le repas soit toujours servi, que les précoces et les retardataires soient toujours bien venus à leur heure, et que jamais la société ne prononce l'exclusion d'un de ses membres en lui disant : « Il est trop tôt » ou « il n'est plus temps. »

Il n'y a donc pas d'objection morale à la dépense ni à la présence de tous les enfants à l'école. Reste le point de vue matériel. Où trouver l'argent? comment obtenir la présence de tous les enfants à l'école?

Les ressources d'argent nous les demanderons à l'association et à l'impôt; nous demanderons au Gouvernement son concours matériel dans la dépense, dans l'organisation et la protection des associations pour l'enseignement professionnel.

Ici se présente une objection grave :

Demander au Gouvernement quelque chose de plus que ce qu'il fait déjà ! Ne fait-il pas assez? ne fait-il pas trop? Son action n'a-t-elle pas le tort d'être trop générale, trop rigide, trop identique, partout, dans son application? Ne faut-il pas, cette fois, faire appel à la plus grande diversité des efforts, des moyens, des solutions; pour agir sur les familles, sur l'autorité, sur la responsabilité paternelles, faut-il donc autre chose que l'influence morale? tout moyen de coercition dérivant d'une autorité centrale ne sera-t-il pas reçu avec défiance comme une sujétion plus profitable au gouvernement qu'à l'individu? N'y a-t-il pas là, au contraire, une occasion pour nos populations de s'émanciper enfin, de sortir des langes administratifs?

On conviendra que la question mérite examen. L'amour de la liberté nous entraîne vers les doctrines d'action et de responsabilité individuelle,

d'association, d'organisation libre, etc. Cela est vrai, cela est bien heureux, et cette tendance morale doit être encouragée. Mais si ce sentiment était sans contre-poids, il nous entraînerait aussi bientôt en dehors des lois qui, bonnes ou mauvaises, ont encore un certain temps à vivre et à régler notre organisation sociale. En ce moment nous sommes organisés avec le Gouvernement; nous lui payons annuellement deux milliards, et nous lui demandons de faire usage de cet argent dans l'intérêt de tous. Nous applaudissons aux emplois pacifiques qu'il en fait; nous sommes moins unanimes sur l'emploi aux choses de la guerre, et il est incontestable que, depuis deux années, les populations les plus civilisées, les plus associées à leur Gouvernement, celles de la France et de l'Angleterre, ont agi avec une telle force dans le sens de la paix, qu'on peut dire, avec vérité, que, pour la première fois, la politique des peuples a guidé la politique des Gouvernements.

Qu'y a-t-il donc de mieux à faire que de détourner, au profit de l'enseignement professionnel, ce que le progrès des idées et des intérêts pacifiques rendra disponible du produit de l'impôt. A ces ressources ajoutons la puissance merveilleuse de l'association; ne demandons à l'État que son patronage et une bonne part de l'argent nécessaire, car il en faudra beaucoup. L'association sera consacrée par l'autorisation du Gouvernement, constituée légalement par un acte officiel qui lui donnera la faculté de recevoir et de dépenser, d'ester en justice, etc.; il ne manque pas d'exemples, à prendre dans notre constitution industrielle et administrative, de sociétés de ce genre.

Telle est, suivant nous, la solution de la question de l'enseignement professionnel appliqué à l'enfance et à la première jeunesse.

L'enseignement sera d'ailleurs facile. Les instituteurs actuels pourront acquérir rapidement, par la lecture de livres spécialement écrits pour eux, les connaissances qui leur manquent. Les associations feront faire ces livres, et notre société y contribuerait sans nul doute. Quant aux ateliers de l'enfance, les professeurs seront pris parmi les habiles ouvriers du village ou de la ville, et peu à peu l'instituteur lui-même saura guider ses élèves.

IV

SUITE DES MOYENS. ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL DE L'ARTISAN ET DE L'OUVRIER ADULTE.

Malgré tout le bien à attendre de la direction scientifique et pratique donnée au premier enseignement, il faut cependant considérer que ce moyen sera lent. Que c'est à peine dans un quart de siècle que les fruits en apparaîtront.

D'ici là deux graves intérêts réclament une réforme aussi immédiate que possible, à savoir : l'enseignement professionnel de l'adulte ouvrier ou artisan, et l'enseignement professionnel des jeunes gens appartenant aux classes aisées ou riches.

L'enseignement professionnel de l'ouvrier adulte est, de tous les besoins de l'époque, le plus pressant, peut-être, parce qu'il est le moyen le plus sûr et le plus prompt d'assurer aux ouvriers les ressources de travail qui, si elles viennent à manquer, exposent à des souffrances et à des misères qui sont la plaie morale du pays.

Il y a un fait qui domine dans l'histoire de notre activité manufacturière; c'est que la quantité totale de travail, en tant que notre commerce d'exportation l'établit, ne s'est jamais abaissée, et qu'elle a toujours été en s'accroissant. La courbe de progression, sans être régulière, est toujours ascendante. Pour une industrie qui se ralentit ou s'éteint, d'autres progressent ou naissent. Ce fait incontestable contient un enseignement : c'est que si l'instruction de l'ouvrier lui permettait de changer facilement d'état, la main-d'œuvre trouverait des emplois qu'elle ne peut atteindre aujourd'hui.

Un autre fait qu'il appartient aux ingénieurs de faire connaître, c'est qu'un très-grand nombre de métiers sont tellement simples, qu'il suffirait de quelques jours, de quelques semaines, de quelques mois, aux ouvriers instruits et adroits, pour les apprendre.

Nous avons cité l'exemple de la crise cotonnière en Angleterre. La durée de cette crise qui laisse depuis plusieurs années, une population toute entière d'ouvriers dans le dénûment, est la plus terrible leçon qu'aucun pays ait reçue dans les institutions qui y ont organisé le travail. Nous avons dit qu'une pareille crise n'aurait pas produit en France d'aussi déplorables résultats. L'ouvrier y émigre plus facilement d'une industrie dans une autre. Mais c'est bien plus à son énergie propre, à son esprit éveillé et ardent qu'il doit cette faculté, qu'à son instruction.

L'instruction sera donc, à l'adulte, un instrument de travail et de bien-être, si elle lui facilite le passage d'une industrie à une autre. Cette instruction doit se faire d'abord par *le livre*.

Qu'on me permette ici une affirmation qu'il me suffira d'énoncer pour être sûr de votre accord avec moi : *le livre de l'ouvrier n'est pas encore fait*. On a considéré que l'usage, la pratique excluaient si complétement la théorie, en ce qui concerne le maniement des outils les plus ordinaires, qu'on ne trouvera nulle part, écrite ou imprimée, enseignée, soupçonnée même, la théorie de la construction et de l'emploi de la pelle, de la pioche, du rabot, de la scie, du burin, du marteau, de l'enclume, etc. Cependant il n'est pas un seul ingénieur ayant passé sa vie au milieu des ouvriers qui n'ait observé que, la plupart du temps, l'inaptitude ou la maladresse de l'ouvrier, la destruction rapide de ses outils, ne viennent que du manque de ces notions théoriques. Dès aujourd'hui un bon livre

sur l'emploi de la pelle et de la pioche, du pic, de la pince, de la barre à mines, abrégerait de plusieurs semaines l'étude du maçon qui, pendant l'hiver, veut travailler à la terrasse. Un livre exposant avec une grande clarté le maniement de la tranche et du marteau à façonner le moellon, de la truelle, les notions de la fabrication du mortier, tous les détails de la confection de la maçonnerie, permettrait au terrassier, devenu servant de maçons, d'apprendre l'état en moins de six mois; aujourd'hui il lui faut plusieurs années.

Je pourrais énumérer les professions simples et faciles qui pourraient être ainsi enseignées à l'adulte; mais la série en est trop étendue. Je me borne à citer un fait qui s'est produit deux fois sous mes yeux.

Un grand atelier reçut, dans une année, des commandes de ponts en tôle qui nécessitaient l'emploi d'un millier d'ouvriers riveurs; il ne pouvait les demander aux fabricants de générateurs, ni le taux du salaire, ni l'urgence ne le permettaient. Mais en trois mois des manœuvres ordinaires furent formés à ce travail. Tel chef d'équipe formait d'autres chefs en deux ou trois semaines; tel autre en un ou deux mois, tel autre plus lentement encore, mais tous parvinrent à en former la quantité nécessaire. Le salaire moyen de ces ouvriers passa peu à peu de 27c,5 l'heure, à 40 centimes. Ce nouveau travail leur offrait beaucoup d'attrait; il leur ouvrait l'accès à d'autres emplois de leur intelligence et de leurs bras. Le même fait s'est répété, tout récemment à Saint-Nazaire, dans les chantiers de construction de navires en fer. Or, si le chef d'équipe ou l'ouvrier avait pu trouver exposés dans un livre les principes et les conditions du maniement des outils, la manière de préparer la matière et les règles d'une bonne exécution, combien l'enseignement du maître et l'intelligence de l'élève n'en eussent-ils pas été facilités.

J'insiste donc sur ce point capital : *le livre professionnel de l'ouvrier est à faire.* Notre Société devra, sur ce point, faire appel à tous ceux de ses membres qui vivent au milieu des ouvriers; ceux-ci se feront aider par leurs seconds, par les chefs d'ateliers, les contre-maîtres, par les ouvriers habiles eux-mêmes, et il sortira de cette entente, d'excellents livres, à lecture facile, à très-bon marché, qui seront la base de l'enseignement professionnel de l'ouvrier adulte.

En outre de ce premier moyen, il en est un autre qui rentre dans un ordre d'institutions semblables à celles du Conservatoire des Arts et Métiers, comme cadre, mais qui répandrait des fruits plus immédiats pour l'ouvrier adulte que celui qui, à l'exception du dessin et de la géométrie, est donné par cette institution. Je veux parler des cours de métiers. Chaque ville, chaque bourg important devrait avoir, pour les adultes, des cours de charpenterie, de menuiserie, de maçonnerie, etc., en un mot les cours professionnels qui se rapprocheraient le plus de l'industrie le plus généralement exercée dans la localité. A l'aide de ces cours, se formerait, peu à peu, la collection des divers outils et des modèles qui de-

viendraient le petit conservatoire de chaque métier et qui en faciliteraient l'enseignement et la démonstration. Ces cours auraient lieu le soir et le dimanche. Ils seraient organisés et surveillés par des associations locales.

Nous n'examinerons pas la question de savoir si l'enseignement répandu par notre Conservatoire des Arts et Métiers pourrait entrer dans cette voie. Nous n'en doutons pas un instant. Il a fait de grandes et difficiles choses avec de faibles ressources, et ce qu'il a fait est une garantie du succès de ce qu'il pourrait tenter dans cette direction.

V

SUITE DES MOYENS. ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL DANS LES CLASSES AISÉES.

Nous arrivons enfin à la dernière partie de la question, à savoir : l'enseignement professionnel dans les classes aisées et riches.

Il semble que là où les forces intellectuelles de la Société sont les plus actives, les plus stimulées par l'étendue des besoins qui constituent le bien-être moral et matériel, l'enseignement de la jeunesse devrait être dirigé vers la préparation à la profession à laquelle chaque individu devra ses ressources personnelles et payera son tribut de bien autour de lui.

Il semble encore aussi vrai que, dans l'énumération des professions diverses, la littérature en est une qui a une place parmi les autres, à son rang, avec ses aptitudes et la limite de ses aptitudes, mais qu'elle n'est pas la préparation obligée et préalable à toutes les autres.

Comment donc se fait-il que l'enseignement littéraire procédant par la connaissance des langues mortes, par l'initiation aux beautés de la prose et de la poésie antiques, soit devenu, d'une manière aussi générale, disons aussi absolue, la base obligée de l'enseignement professionnel, c'est-à-dire de l'enseignement scientifique ?

On ne peut s'empêcher d'éprouver une profonde surprise de ce déraillement extraordinaire hors de la voie du travail. Permettez-moi ces expressions entre nous, à cause de leur énergique signification.

C'est, en effet, une bien singulière histoire que celle de l'enseignement comme l'Université, le Gouvernement, et l'association privée l'ont compris.

D'un côté, l'Université suit avec une persistance inébranlable un système adapté à une population inactive, au moment même où cette population se jette avec une ardeur admirable dans l'activité; elle refuse ainsi à cette activité l'enseignement préparatoire qui lui est indispensable. D'un autre côté, le Gouvernement, suivant la tendance du progrès des idées, fonde l'École polytechnique, la plus belle, la plus féconde institu-

tion, comme enseignement préparatoire scientifique, qui ait jamais été créée.

L'Université maintient l'obstacle à toute initiative de la jeunesse dans le choix d'une profession, celui de l'ignorance scientifique; le Gouvernement stimule, par le plus haut développement des facultés d'étude, l'accès aux professions les plus élevées, laissant entre les deux extrêmes si contradictoires une immense lacune. C'est que, dans le premier cas, l'Université continue un passé où les lettres seules étaient en honneur, et que, dans le second, le Gouvernement veut former des corps scientifiques qu'il appelle à diriger la plus belle des industries, celle des services publics.

Mais, du côté de l'association privée, point de contradiction. Entre ces deux extrêmes, l'École centrale des arts et manufactures vient combler une des parties de l'espace laissé vide, par un enseignement préparatoire admirablement adapté aux intérêts de travail et de profession des classes éclairées.

L'organisation exagérée de l'enseignement littéraire ferme l'accès à la profession. L'organisation de l'enseignement scientifique ouvre l'accès aux plus utiles professions; la leçon est faite.

Ce qui, dans l'enseignement universitaire, pourrait servir aux professions industrielles, est soigneusement évité. Son programme se résume par ces mots : « *Les lettres d'abord, et à tout prix; les sciences après, secondairement, et s'il reste à l'élève du temps, des ressources pécuniaires et des forces morales.* »

Que devient donc notre bagage littéraire? Qui de nous n'échangerait son grec et son latin pour l'anglais, l'allemand, l'italien, l'espagnol et le russe. Un seul d'entre nous a-t-il eu recours, une fois dans sa vie, à un dictionnaire des racines pour comprendre les dérivés du grec qui embrouillent, suivant les uns, éclairent suivant les autres, les nomenclatures scientifiques? N'apprenons-nous pas, d'ailleurs, le latin aux dépens du français?

Profitons de l'aptitude de la jeunesse à recevoir, de bonne heure, l'enseignement scientifique. Laissons l'Université qui, il faut le regretter, n'est pas savante, reconnaître son impuissance à faire des savants et des travailleurs, en donnant le premier rang aux lettres, au lieu de coordonner les deux instructions; laissons-la persister dans sa voie, parce qu'en pareille matière, le premier soin doit être de ne rien détruire, de ne rien amoindrir qu'en le remplaçant par quelque chose de meilleur; or, le mieux ne peut venir que de l'association guidée par les anciens élèves des écoles professionnelles. C'est à eux à faire valoir ce dont ils sont issus; qu'ils se rappellent que c'est sur le tard qu'ils ont pu acquérir les notions scientifiques qui leur ont ouvert les portes de l'école dont ils sont sortis préparés pour les plus solides professions de l'art et de l'industrie. Aujourd'hui le programme d'admission est encore plus

élevé qu'il ne l'était alors. Il s'élève chaque jour. Il exige plus de temps, et force est de restreindre l'enseignement littéraire des lycées et d'en perdre ce qui eût pu, en suivant une méthode différente, être associé à l'enseignement scientifique.

Mais si d'un côté le mal est grand, il est au moins le plus facilement réparable. Les ressources matérielles ne manquent pas ici. Le nombre immense de jeunes gens sortant du collége, sans destination professionnelle, dont une foule demande des moyens d'existence à leur plume bien inexpérimentée, dont une autre foule envahit les bureaux de l'Administration, et dont une autre foule encore entre, comme on dit, *dans les affaires* sans y apporter le plus petit bagage scientifique; ce nombre, disons-nous, qui grossit tous les jours, épouvante, par l'absence d'instruction efficace, les parents, aussi bien que les victimes elles-mêmes d'un enseignement mal dirigé. On comprend qu'on doit et qu'on peut sortir de cette impasse.

Ce sentiment est très-salutaire, il agira à la fois sur l'Université, sur le Gouvernement; il encouragera la fondation, par l'association, d'écoles professionnelles. Car on ne peut se dissimuler, ni trop se féliciter de l'intérêt que l'opinion publique attache à cette question. On comprend désormais que la propagation de l'enseignement scientifique et professionnel dans le corps social, est aussi nécessaire que la circulation du sang dans le corps humain.

De l'Apprentissage.

On est disposé à croire que l'apprentissage est, de tous les moyens d'enseignement des ouvriers, à la fois le plus étendu et le plus efficace. S'il en était ainsi, l'instruction de l'ouvrier serait suffisante, car depuis des siècles, le sentiment du patronage existe, et le patron peut apprendre à l'apprenti tout ce qu'il sait. Les faits cependant démontrent et expliquent l'inefficacité de l'apprentissage. Ces faits sont révélés par la récente enquête de la Chambre du commerce sur l'industrie parisienne.

Le nombre des ouvriers est à Paris (1861) de.	285,861
Les fabricants travaillant seuls ou avec un ouvrier.	62,299
Les façonniers.	26,242
Ouvriers attachés aux établissements publics.	45,028
Enfants au-dessous de 16 ans.	19,059
Total.	438,489

Sur ce nombre, il y a 14,161 apprentis, dont 626 enfants de patrons. 3,674 seulement sont engagés avec contrat.

Ainsi l'apprentissage ne s'étend qu'à 3,2 pour 100 du nombre des ouvriers.

NOMBRE DES OUVRIÈRES :

Le nombre des ouvrières était, à Paris, en 1861, de.	105,410
Filles au-dessous de 16 ans.	6,481
Total.	111,891

sur lesquelles le nombre des apprenties est de 5,581 (5 pour 100), dont 214 sont filles de patrons. 849 seulement sont engagées avec contrat.

Si on déduit des 15,219 garçons et filles apprentis sans contrat, ceux sur le travail desquels le patron spécule au point de ne laisser à l'apprenti ni temps, ni moyens d'apprendre, et ceux que leur isolement moral laisse exposés à des vices précoces, si on se rappelle, en outre, que l'apprentissage ayant une durée moyenne de 4 ans, c'est le quart du nombre d'apprentis ci-dessus, qui entre chaque année dans la classe ouvrière, on arrive à la pénible conviction que PARIS, *la capitale du monde civilisé*, dont l'industrie produit annuellement 3,369,000,000 fr., *Paris*, ville de 1,700,000 âmes, enseigne une profession à 2 ou 3,000 jeunes ouvriers, au plus, chaque année. A côté de cela la classe ouvrière se recrute à Paris tous les ans de 20 à 30,000 ouvriers qui n'ont rien appris et apportent leurs bras pour tout moyen d'existence.

Qu'on parle maintenant de l'apprentissage comme un moyen sérieux d'instruction professionnelle de l'ouvrier!

La profession des constructeurs de machines occupe 8,417 ouvriers, 26 femmes et 184 garçons au-dessous de 16 ans. Ses produits ont une valeur de 50,000,000 de francs.

Il doit entrer dans l'enseignement professionnel de ces ouvriers, après l'enseignement primaire, des notions de dessin linéaire, un peu de géométrie, et de la mécanique. C'est beaucoup. Cela ne peut s'apprendre qu'avec le temps, c'est-à-dire pendant les années d'apprentissage. Il doit donc y avoir, dans cette profession, un grand nombre d'apprentis. Or il y en a 179! (2 pour 100 du nombre d'ouvriers occupés) dont 48 ne savent ni lire, ni écrire. 175 sont fils d'ouvriers. 41 sont engagés par contrat; la moyenne de l'apprentissage est de 3 ans 1/2. Ainsi l'industrie de la construction des machines, à Paris, forme, chaque année, par l'apprentissage, une cinquantaine d'ouvriers!

Combien doit-on savoir gré à la Chambre du Commerce d'avoir jeté la lumière dans ce gouffre d'ignorance!

APPRENTISSAGE DANS LES INDUSTRIES PARISIENNES.

INDUSTRIES.	NOMBRE D'OUVRIERS et d'ouvrières.	NOMBRE D'APPRENTIS et d'apprenties.	NOMBRE D'APPRENTIS sur 100 ouvriers.
Or, argent, platine	18.731	3.629	20
Articles de Paris	25.698	2.184	8.6
Instruments de précision, de musique, horlogerie	11.828	1.010	8.4
Imprimeries, gravures et papeteries	19.507	1.383	6.82
Ameublement	37.951	2.571	6.75
Vêtements	78.377	3.653	4.6
Carrosserie, sellerie, équipements militaires	18.584	2.184	4.5
Autres industries	139.604	3.604	0.9
	350.280	19.742	3.6

Prenant, pour base de comparaison, les ateliers d'une Compagnie de chemin de fer, à Paris, dans lesquels le nombre des ouvriers est de. 460
et celui de leurs enfants de. 495
Dont, ayant l'âge de 10 à 15 ans, garçons. 47
et filles 58

Appliquant ces bases au nombre d'ouvriers réunis à Paris, qui est de. . 438,389
cela donne pour le nombre des enfants. 471,000
Dont, à l'âge de 10 à 15 ans, garçons. 45,000
filles. 55,000

Nous ne faisons pas entrer dans ces nombres les 105,410 ouvrières recensées à Paris. Cela permet de compter 120,000 enfants d'ouvriers ayant 10 à 15 ans; mais ce nombre doit être encore notablement augmenté, car il n'y entre pas les enfants des concierges et des domestiques, des petits employés et autres personnes exerçant des professions non ouvrières, mais également restreintes dans leurs ressources d'existence.

D'après cet exposé, on peut admettre que les 19,000 apprentis parisiens forment à peine le dixième du nombre des enfants de 10 à 15 ans auxquels l'éducation professionnelle de l'ouvrier est indispensable.

Est-il nécessaire d'augmenter le poids des rails et leur surface de roulement? Ne peut-on dans les conditions actuelles prolonger la durée de la voie en modifiant la fabrication des rails?

PAR M. P. SIEBER.

Permettez-moi de revenir encore sur la question des rails, et d'exposer quelques observations se rapportant à la discussion sur l'usure des rails, qui a eu lieu dans les séances du mois de juin dernier.

Des rails très-lourds. — On a proposé, pour augmenter la durée des rails, d'en accroître le poids ainsi que la surface de roulement, espérant ainsi diminuer la flexion des barres et l'usure rapide résultant du passage des roues.

A première vue, l'idée peut paraître juste; soustraire le rail aux flexions excessives auxquelles il est exposé en service, c'est évidemment le soustraire aux altérations précoces qui en dérivent, et dont la cause réside dans la désagrégation produite aux points de flexion, désagrégation qui se traduit soit en crevasses longitudinales séparant les boudins du corps du rail, soit en exfoliations, dessoudures, etc., défauts que l'on attribue quelquefois à des vices de fabrication, bien qu'ils ne tiennent le plus souvent qu'aux mauvaises conditions de travail du rail en service.

Mais est-il vrai que dans l'état actuel de nos voies, il y ait avantage à porter le rail à un poids excessif?

Répondant, à mon sens, à cette question, je dirai : Oui, si la roideur du rail doit parfaire au manque de résistance du sol, au manque de stabilité de la voie; non, dans tous les cas où la densité et l'homogénéité du sol, ainsi que l'assiette de la voie, seraient satisfaisantes.

D'ailleurs, si, comme on l'a dit, la vitesse de 70 kilomètres à l'heure est fatigante pour le matériel et incommode pour les voyageurs lorsqu'on roule sur nos voies, qui ne pèchent certainement pas par excès de rigidité, pourrions-nous espérer qu'une voie plus rigide offrirait plus de douceur, telle serait, par exemple, une voie venue de fonte tout d'une pièce?

Je ne le crois pas, et je suppose au contraire qu'il faut s'éloigner autant d'une voie trop rigide que de tout système qui offrirait un manque d'assise, ou une flexibilité illimitée.

Il y a donc une moyenne à préférer, moyenne à trouver parmi des éléments de nature diverse, tels que l'épaisseur et la qualité du ballast, l'étendue de la surface de pression sur les traverses, la résistance du rail dérivant de la forme de sa section, de son poids, etc.

Là serait, à mon sens, le champ ouvert à nos recherches, car il ne faudrait pas confondre la roideur absolue avec la flexion qu'un rail peut subir sans altérer l'élasticité initiale de la matière dont il se compose.

Un ressort exposé à des flexions réitérées résiste indéfiniment, si l'effort qui le sollicite à fléchir se maintient dans les limites compatibles avec la ténacité de la matière dont il se compose.

Forme de la section des rails.—Pour mieux rendre ma proposition, prenons quelques exemples dans des faits connus.

Dans les intéressantes expériences faites en Prusse par M. Weishaupt sur diverses formes des rails, nous avons vu que deux rails, l'un à profil de rails Vignole, l'autre à doubles champignons inégaux, ayant tous deux une même hauteur de $0^{m},117.7$, appuyés sur deux supports espacés de $0^{m},940$, ont offert une limite identique d'élasticité inaltérable sous la charge de 6,680 kilog. environ.

On pourrait déduire de là que les deux formes de section se trouvent dans des conditions économiques analogues; cela ne serait cependant pas exact, attendu que le rail Vignole pesait $32^{k},7$, tandis que l'autre ne pesait que $29^{k},8$ par mètre.

Notre déduction serait encore inexacte par rapport à la résistance absolue des barres, puisque le rail Vignole, tout en pesant environ 3 kil. de plus par mètre, s'est rompu sous 26,546 kil., tandis que l'autre n'a cédé que sous 27,061 kil.

Dans un autre essai, on voit qu'un rail Vignole, qui avait $0^{m},104$ de hauteur, soumis aux expériences et comparé avec un rail à champignons inégaux, qui n'avait que $0^{m},102$, a fourni l'extrême limite d'élasticité sous la charge de 5,299 kil., tandis que l'autre à deux champignons, quoique moins haut, a atteint cette limite sous une pression de 5,762 kilog.

Mais ici encore la différence en faveur du rail à double champignon devient plus surprenante, lorsqu'on tient compte de ce que le rail Vignole pesait $33^{k},9$ par mètre, tandis que le rail à champignons inégaux ne pesait que $26^{k},8$, c'est-à-dire 7 kilog. de moins par mètre!

Toutefois, cette différence de 7 kilog. par mètre étant très-considérable, puisqu'elle représente environ les 25 p. 100 du poids, la résistance absolue de la barre a dû nécessairement s'en ressentir; et, en effet, le rail à double champignon s'est rompu sous une pression de 19,653 kil., quand le rail Vignole n'a cédé que sous 26,598 kil. C'est là une différence de 6,945 kil.; mais c'est peu pour une différence en plus de 7 kil. par mètre.

D'ailleurs, les rails ne pèchent plus par la rupture en service; ils ne laissent à désirer que sous le rapport de leur trop grande malléabilité et de leur manque d'élasticité, défauts qui tendent à rendre permanentes les flexions trop répétées ou trop prononcées, dont le remède n'est pas d'augmenter le poids, mais celui de rendre la matière plus dure et la barre plus élastique.

Dans notre cas spécial, la forme du rail, qui sous un poids de 7 kilog. par mètre de moins a offert une limite d'élasticité utile, égale à celle d'un autre rail de 7 kilog. plus lourd, serait évidemment une forme de rail à préférer.

Quoi qu'il en soit, ces résultats ne figurent ici que pour démontrer la grande influence exercée par la forme de la section sur l'élasticité utile d'un rail, influence qui à mon avis devrait prévaloir avant toute autre considération.

Rails à simple surface de roulement.— Toutefois, puisque nous y sommes, constatons que la forme du rail à champignons inégaux serait plus avantageuse que la forme Vignole. J'ajouterai même ici que la forme de rail à champignons égaux le serait encore davantage, car si, économiquement parlant, le rail à champignons inégaux (à simple surface de roulement) prime le rail Vignole de 20 à 25 p. 100, le rail à champignons égaux prime à son tour de 30 p. 100 environ le rail à champignons inégaux. Car, quoi qu'on en ait dit, il reste acquis que la faculté de pouvoir retourner le rail procure un avantage de un tiers sur la durée totale; j'ai constaté souvent ce fait dans mes relevés d'usure des rails.

Mais, entendons-nous; le retournage utile des rails n'est pas celui qu'on opère après la destruction du premier champignon, mais bien celui qu'on opérerait de suite alors que l'usure du rail, tout en étant encore minime, serait néanmoins assez avancée pour laisser apercevoir l'existence de vices réels de fabrication, comme exfoliations, dessoudures, etc. C'est au moment où l'on a acquis la certitude que les défauts apparents sont de nature à limiter la durée du champignon qu'il faut les retourner.

Il y a cent probabilités contre dix, que le deuxième champignon sera d'autant meilleur, que le premier aura été mauvais, attendu que sur les rebuts de fabrication on ne trouve guère dix rebuts sur cent qui soient mal soudés des deux côtés à la fois. Il semble qu'en général les rails ne sont mal soudés que par défaut de chauffage, ou parce que l'ouvrier a négligé de retourner les paquets dans le four; or, il est extrêmement rare que le côté du paquet, qui repose sur la sole pendant la chauffe, manque de chaleur, et par conséquent qu'il soit mal soudé. Le poids du paquet qui pèse sur les dernières mises est, d'un autre côté, une garantie de bonne soudure.

Je maintiens donc qu'il y a toute probabilité pour qu'un rail dont l'un

des champignons serait de très-mauvaise qualité ait le second parfaitement soudé.

Or, si après les deux ou trois premières années de service, on retournait tous les rails ayant des défauts graves, ces rails pourraient, pour la plupart, faire encore un excellent usage pendant douze à quinze ans, au lieu d'être relégués un an après au tas de ferraille, comme cela arrive lorsque les rails n'ont qu'une seule surface de roulement. Et, remarquons-le bien, cet avantage considérable peut s'obtenir sans augmentation de poids par rapport aux rails Vignole de 37 kilog. employés aujourd'hui.

Le rail du système Barlow, pour le dire en passant, était très-lourd; ce rail n'était pas défavorable seulement parce qu'il était à simple surface de roulement, ou à cause de la ductilité du fer dont il se composait, mais il était surtout excessivement mauvais, parce que par la forme de sa section il exagérait les vices du rail Brunel (Bridge rail); or, celui-ci avait sur le rail Barlow l'avantage, faible sans doute, économiquement parlant, de reposer sur toute sa longueur sur des longrines en bois d'une densité égale formant un appui homogène dans son espèce, avantage que n'a pas le rail Barlow, posé directement sur le ballast, sans traverses, ou avec une ou deux traverses par rail. Cette voie, dépourvue d'une assiette convenable, devait donc s'altérer d'autant plus promptement que la corde de flexion était plus allongée ou indéterminée, que la couche de ballast manquait d'homogénéité et de consistance nécessaire pour suppléer à l'insuffisance de roideur de la barre.

Un rail Barlow pesant 45 kilog. par mètre offrait à peine une roideur égale à celle d'un rail à champignons égaux pesant 30 kilog par mètre: aussi, vingt-sept mois de service ont suffi pour détruire une aussi lourde voie, quand des rails en 30 kilog., placés sur la même ligne, ont résisté un temps moyen de huit à dix ans.

D'après ce qui précède, nous serions amenés à conclure sur ce grand point : qu'il ne peut être vrai, dans un sens général, que des rails plus lourds puissent, en raison du poids seulement, rendre de meilleurs services, mais plutôt qu'au moyen de certaines formes de section bien étudiées, par des conditions de pose plus favorables, jointes à certaines pratiques d'entretien, comme le retournage opportun des rails à champignons égaux, on peut arriver à la fois à réduire considérablement les flexions nuisibles, et amener nos rails à des durées plus satisfaisantes.

Défaut de compacité dans les champignons des rails. — D'un autre côté, il n'y aura jamais avantage à augmenter la force de la tête du rail; car, en thèse générale, la faible durée de nos rails ne tient qu'à la trop grande ductilité du fer, ductilité sensiblement aggravée par le procédé qui s'est généralisé, de terminer les rails trop chauds.

J'ai déjà eu l'occasion de faire observer que le fer à qualité égale ac-

quiert d'autant plus de dureté qu'il est ramené par le travail à des épaisseurs moins fortes. En veut-on une nouvelle preuve matérielle? Eh bien! qu'on écrase sous les cylindres un bout de rail tombant de la scie, puis qu'on soumette à l'épreuve de dureté la portion du champignon écrasé, comparée à celle du champignon du rail, et l'on constatera la grande différence qui existe en faveur du champignon écrasé, bien qu'il soit du même fer, et qu'il ait été retranché de la même barre.

On conviendra donc que cette plus grande dureté du champignon écrasé tient non-seulement à ce qu'il a été ramené à une plus faible épaisseur, mais encore à ce que la compression d'écrasement a eu lieu à une plus basse température que celle à laquelle on a terminé le rail de laminage. Je ne m'arrêterai pas davantage sur ce point. Je me borne à constater que le fer réduit en plus faible échantillon par un travail mécanique prolongé, gagne, à matière égale, en dureté et en compacité.

Plus grande largeur du champignon. — Quant à l'élargissement de la surface de roulement, j'ai à faire observer que j'ai vu des rails de 40 kil. le mètre à champignons égaux, qui avaient une table de roulement de 0m,070 de large (Eastern Counties R), dont les boudins du champignon étaient plus altérés que sur les autres rails plus anciens de la même ligne, dont les champignons n'avaient que 60 à 62 millimètres.

Ce fait m'avait frappé, mais j'ai dû l'attribuer à ce que le matériel roulant faisant ses plus longs parcours sur des champignons étroits, l'usure des bandages se faisait par rapport à ces rails, et par suite leur profil altéré devait devenir désastreux pour les rails à table de roulement plus large.

Il y a là un inconvénient qui subsistera toujours, à moins qu'un matériel roulant ne parcoure qu'une ligne construite exclusivement avec des rails à table large.

D'un autre côté, on peut poser dès à présent cette condition essentielle: qu'à moins d'obtenir l'élargissement du champignon en augmentant en pure perte l'épaisseur du corps du rail, il ne semble pas prudent de l'obtenir par une augmentation de la saillie des boudins, au delà de celle admise aujourd'hui pour les boudins des rails de 36 à 40 kilogrammes le mètre.

Emploi de l'acier Bessemer. — Avant d'aborder la question de la fabrication des rails, telle qu'on semble l'admettre aujourd'hui, je dirai que, relativement à l'opportunité de l'emploi du métal Bessemer, on ne devrait pas perdre de vue les circonstances de production de ce métal par rapport au travail de finissage qu'il doit subir pour être converti en rails.

En effet, d'après ce que j'ai vu et appris à ce sujet, il résulte que l'acier Bessemer, produit avec un degré de dureté ou, comme l'on dit, de *viva-*

cité utile, ne peut guère se laminer en rails sans criquer dans les boudins du champignon, et sans déchirures dans les patins des rails Vignole.

Il est vrai que de faibles criques dans les boudins des rails à double champignon n'ont guère de gravité, attendu que la résistance provient de la force verticale du corps du rail; mais les déchirures dans le patin du rail Vignole ont évidemment une importance majeure.

Ce résultat défavorable ne tient pas, comme on pourrait le supposer, à un manque de malléabilité de la matière, loin de là; il tient à ce qu'une matière aussi pure, et par conséquent très-dense, ne peut s'étirer qu'en procédant très-lentement, à une température favorable et égale de toute la masse. C'est ce qui n'existe pas ou cesse d'exister pendant le laminage du rail, car, aussitôt qu'une partie de la section se réduit d'épaisseur, cette partie devenant de plus en plus sensible à l'action réfrigérante des cylindres (qui doivent être entretenus aussi froids que possible) se déchire; les effets de la contraction engendrent ensuite des solutions de continuité dans la trousse, et rien ne peut plus y parer.

On nous demandera peut-être comment il se fait qu'on obtienne d'aussi beaux rails en acier fondu; à cela je répondrai que les rails en acier fondu qu'on a déjà mis en service sur plusieurs lignes, pour essai, sans être exempts de rebuts produits par la même cause, n'ont pas été obtenus par la fusion de fer cémenté, seul acier qui serait comparable à l'acier Bessemer, mais qu'ils ont été produits par la fusion d'acier puddlé, matière comparativement bâtarde et tellement impure qu'elle ne saurait recevoir la trempe en son état brut.

D'après cela, nous ne pouvons espérer d'obtenir aujourd'hui en métal Bessemer que des rails en fer très-pur, sans soudure, il est vrai, mais d'une ductilité extraordinaire.

Avec le plus beau grain fin de nos meilleurs fers au bois, les rails Bessemer sont loin de posséder une dureté initiale comparable à celle de ces derniers.

Il semblerait même résulter, de renseignements assez généraux, que si l'on faisait l'inventaire des rails en métal Bessemer qu'on a mis en service comme essai, tant à l'état des rails contre-aiguille de changements de voie, qu'à l'état de pattes de lièvre de croisements très-fatigués, et même comme rails spéciaux très-exposés sur les voies des gares à grand trafic, il résulterait, paraîtrait-il, que les rails Bessemer n'ont guère offert à ce jour une durée assez rémunératrice de leur plus-value, ni par rapport aux rails spéciaux fabriqués tout en fer corroyé, ou en fer spathique traité au pilon, ni par rapport aux pattes de lièvre en rails ordinaires bien aciérés.

En pleine voie, les rails Bessemer donneront peut-être des résultats différents; mais il est à prévoir que l'élévation de leur prix de revient sera, pendant quelque temps encore, un obstacle à leur adoption, surtout si l'on tient compte de cette circonstance, que le métal Bessemer,

matière d'une grande pureté, et par cela pratiquement insoudable sur elle-même, ne saurait, à l'état de vieux rails, trouver le même placement facile que notre vieille ferraille.

Méthode actuelle de fabrication des rails ordinaires. — J'arrive ici à la fabrication des rails ordinaires, telle qu'elle semble être imposée aujourd'hui à toutes les usines d'Angleterre, de France et de Belgique.

Il est digne de remarque que le procédé dont il s'agit ait pu traverser paisiblement une période de quatre à cinq ans, sans soulever plus d'opposition. L'on comprend très-bien qu'en matière de perfectionnement par rapport à la durée des rails, on doive essayer tout ce qui offre quelque chance de succès; on aura toujours tort d'en agir autrement, mais une persistance de quatre à cinq ans dans une même voie n'indiquerait-elle pas qu'il ne s'agit plus d'un essai, mais plutôt d'une théorie, imposée bon gré mal gré aux maîtres de forge?

Voilà l'argument sur lequel je crois devoir m'arrêter un instant; et, comme il faut que je puise les éléments de la discussion à une source quelconque, je prendrai pour point de départ un document anonyme: le *Cahier des charges cosmopolite*, que l'on impose maintenant en France, en Espagne, en Autriche, en Russie, et même en Italie; et pour que l'on ne se méprenne pas sur son véritable caractère, je citerai quelques-uns de ses passages les plus caractéristiques.

ARTICLE .....

« La fabrication (du fer puddlé) sera dirigée de manière à n'avoir que du fer à grain.

Les fers puddlés destinés à la fabrication des rails seront, d'ailleurs, par leur *nature*, exactement classés en trois catégories, c'est-à-dire :

1° Fer à grain fin; 2° fer métis; 3° fer à nerf.

Dans le paquet pour corroyé, il n'entrera que du fer de la première catégorie, c'est-à-dire du fer à grain.

Les paquets pour rails seront composés de fer à grain fin; dans tous les cas, néanmoins, le fer à structure nerveuse ne sera admis qu'au dernier tiers du paquet (il s'agit ici de rails Vignole); entre ce dernier et les deux premières mises de fer à grain sous le corroyé, on admettra le fer métis. »

Comme je le disais, il est surprenant qu'un procédé, basé sur une semblable théorie, puisse persister encore; nous serions tenté, d'après cela, de croire que son succès est désormais réel, et que les rails ainsi fabriqués échappent aux plaintes générales relatives à la faible durée. C'est ce que nous allons examiner.

Par les prescriptions qui précèdent, l'auteur veut que le paquet pour

rail ne soit composé qu'avec des fers puddlés à grain fin; néanmoins, comme dans la masse du puddlé d'une même fonte, il se rencontre, à la cassure, une certaine variété de nuances, il prescrit que ces fers seront soigneusement classés par nature; puis il détermine la place que chacun de ces fers doit occuper dans le paquet.

Examinons d'abord cette prescription : les fers puddlés seront classés *suivant leur nature*. De quelle nature veut-on parler ici?

On dirait qu'on confond les vario-bigarrures de grain, de métis et de nerf, avec la nature du fer. Ignorerait-on, par hasard, que la nature du fer reste la même pour toute la masse du produit d'une même fonte dans une même usine, et que les vario-bigarrures que l'on remarque ne sont que les indices d'un affinage plus ou moins avancé?

Mais passons outre; en nous rendant compte des tendances et du but que mon document se propose d'atteindre, nous voyons que la fabrication du corroyé avec le puddlé à grain, le fer puddlé à grain, placé immédiatement au-dessous, le fer à nerf qu'il admet dans le dernier tiers du paquet, et finalement le fer métis qu'il tolère au milieu, n'ont absolument aucun autre but que d'obtenir du grain dans le champignon, du nerf dans le patin, et du fer métis dans le corps du rail.

Eh bien! l'auteur du cahier des charges commet ici deux grandes inadvertances. Premièrement, il laisse croire qu'il ignore ce que deviennent par un premier corroyage toutes ces nuances du fer puddlé; puis ensuite il aurait l'air de croire lui-même que les rails n'ont du grain dans le champignon et du nerf dans le patin que par suite des mesures qu'il prescrit, alors que ces nuances dans les rails peuvent être normales, et provenir de toute autre cause.

Le grain et le nerf dans les rails ne sont en effet qu'un résultat de l'action mécanique de laminage, laquelle, à la température normale de travail du fer, forme le nerf dans les parties les plus minces, et laisse le grain initial dans les parties plus fortes.

Cela est si vrai qu'on pourra se convaincre, quand on le voudra, qu'en composant le corroyé et tout le paquet pour rails, avec tout puddlé à nerf pris dans la même masse sur laquelle on a trié le grain, on trouvera dans la cassure du rail, exactement les mêmes nuances de grain, de nerf, que dans les rails produits rien qu'avec le puddlé à grain soigneusement trié.

C'est au point que si une cassure de rail toute à grains pouvait mieux satisfaire, on peut, si on veut, ne composer le paquet qu'avec tout fer puddlé à nerf, et il suffira que le rail soit fini de laminage très-chaud, plus chaud que de coutume, pour avoir la satisfaction de trouver dans le rail une cassure entièrement à grains.

Si en prescrivant du grain, le cahier des charges n'admettait qu'un certain grain déterminé à l'exclusion de tous les autres, on pourrait croire que toutes les prescriptions imposées tendent à obtenir un grain spécial.

dans lequel pourrait résider toute la supériorité qu'on attribue à ces rails; mais, outre que par ces prescriptions on ne saurait obtenir aucun grain spécial, favorable en tant qu'il s'agit des fontes d'affinage qu'on admet, nous voyons adopter toute espèce de grain. Il dit bien : *du fer puddlé à grain fin*, mais cela ne veut pas dire du tout qu'il y aura du grain dans la tête du rail, et bien moins encore du grain fin.

Cela prouve encore une fois que l'auteur du cahier des charges ne tient pas compte de ce que deviennent par un premier corroyage les diverses nuances du fer puddlé.

Le champignon des rails ainsi obtenus, comme les champignons de tous les autres rails, ne peut avoir d'autre grain que celui propre à la nature des fontes que l'on traite; et ces champignons n'auront jamais que le grain qu'on obtiendrait en employant le puddlé tout-venant produit par une même fonte dans une même usine.

L'auteur du cahier des charges se trompe tellement dans ses prescriptions que si, par hasard, il lui venait à la pensée d'obtenir effectivement un grain plus fin dans les champignons (toujours en parlant des fontes qu'il admet dans toutes les usines), on ne saurait le lui donner qu'en agissant d'une manière tout à fait contraire à celle qu'il prescrit. Il faudrait d'abord affiner parfaitement les fontes; on aurait alors un puddlé laminé à nerf d'autant plus clair et long que l'affinage aurait été plus complet. On ferait le corroyé avec ce fer puddlé, et l'on verrait qu'étant appliqué au paquet pour rails, il fournirait dans le champignon une cassure admirable de finesse et d'homogénéité.

Donc, sous le rapport spécial de l'obtention du grain dans le champignon, les prescriptions semblent n'avoir aucune espèce de fondement. En auront-elles un, étant considérées comme pratiquement utiles pour obtenir des bons rails en fer dur et compacte? C'est ce que nous allons voir.

« *La fabrication sera dirigée de manière à n'avoir que du fer à grains.* »

Cette prescription stéréotypée, applicable à toutes les usines de l'Europe, semblerait renfermer le secret par lequel on peut seulement parvenir à produire du fer dur et compacte. Toutefois, pour qu'il en fût ainsi, il faudrait au moins qu'elle fût précédée ou suivie de quelques prescriptions ou réserves, relatives à la nature des fontes qu'on traite dans les diverses usines à rails, car chimiquement ces fontes ne se ressemblent nullement entre elles.

Imposer la clause ci-dessus sans prescriptions complémentaires, c'est dire aux maîtres de forge : si vos fontes, bien affinées, ne donnent que du puddlé laminé à nerf, obtenez du grain quand même, soit par un affinage incomplet, soit par un tour de main du puddleur, car il me faut du grain. Eh quoi! dirons-nous, pour arriver à fabriquer des bons rails en fer dur et compacte, sans distinction de fontes, il ne vous faut que du

grain? Et, si de fait le puddlé a plus de grain qu'il est plus imprégné d'impuretés et de crasses, vous conviendra-t-il également?

Or, comme ce serait faire grand tort à l'état de la science métallurgique de notre époque que d'admettre pareille prétention, nous dirons que le grain tout seul ne peut suffire pour donner du fer dur et compacte, et pour arriver à une solution quelconque sur ce sujet, j'inviterai l'auteur du cahier des charges à s'expliquer, et s'il finit par nous dire qu'il faut autre chose avec le grain, ou qu'il faut un certain grain particulier, nous insisterons pour qu'il veuille bien prescrire la nature de l'agrégat utile, de crainte que le puddleur ne le laisse s'écouler avec les crasses, et aussi pour qu'il nous prescrive jusqu'à quel point le puddleur doit conduire son affinage, pour qu'on retrouve dans le fer puddlé un autre grain que celui de la fonte incomplétement affinée. En dehors de ce complément de prescription indispensable, il nous est impossible de pouvoir prendre le cahier des charges au sérieux.

Le soufre, le phosphore, l'arsenic, la silice, etc., sont tous des agrégats propres à fournir du puddlé laminé à grain (notons bien ici du puddlé et non pas du corroyé); cela est incontestable; mais si ces silicates sont propres à donner du puddlé à grain, seront-ils propres aussi à donner du fer dur et compacte? Non certes.

D'après la manière dont se comportent au travail les fers sulfureux, phosphoreux, arsénieux, nous pouvons déduire quelle sera leur valeur par rapport à la dureté et la compacité.

Lorsque le fer se trouve agrégé avec l'un ou l'autre de ces silicates, il est extrêmement difficile de tenir la trousse assemblée; pendant le forgeage, elle se boursoufle, les ampoules qui se forment à la surface font explosion sous le marteau, et laissent des plaques de pailles insoudables: les ampoules qui se forment à l'intérieur se subdivisent, pendant le forgeage, en bulles ou cavernes grandes ou petites, polarisées par ces cristaux prismatiques qu'on remarque trop souvent dans le fer fini. En général, on n'obtient que du fer extrêmement pailleux et tendre par excellence.

Ce ne sera donc, dans aucun cas, avec ces mauvais agrégats qu'on pourra jamais espérer produire du fer dur et compacte, propre à fabriquer des rails durables.

La silice, de son côté, tant qu'elle se rencontre naturellement agrégée au minerai, donne un fer puddlé métis, mais elle s'élimine presque entièrement à la température de soudure, c'est-à-dire au premier corroyage; elle donne en tout cas un fer essentiellement tendre. C'est le fer qui se lamine le plus facilement et en toutes espèces de barres profilées. Cependant, lorsqu'on traite des fontes saturées à dessein de silice au haut fourneau, ou dans les fours à puddler, on obtient un fer à grain fin, brillant, cassant comme du verre, se cassant même à côté de la lame de la cisaille. Ce fer est dur, comme le sont les cristaux; il se casse sous le

moindre effort, parce que l'agrégat constituant se met en poussière sous la moindre flexion, et laisse les fibres du fer absolument énervées.

La silice s'élimine aux premiers corroyages, avons-nous dit; mais si le fer en est saturé d'une manière excessive, elle persiste; cependant, distinguons; car dans ce cas il n'est plus question de fer, mais bien d'un composé ferro-terreux qui ne ressemble à rien.

Or, par hypothèse, si l'on produisait du corroyé pour rails avec un fer puddlé assez saturé de silice, pour que cette dernière ne puisse s'éliminer par deux corroyages successifs, qui oserait affirmer qu'on aurait du fer dur et compacte? Il serait siliceux, mais dur point, parce que la silice ne résiste ni à la pression ni aux chocs, et qu'au contraire elle se broie sous la moindre flexion. Pour admettre que ce soit là du fer convenable pour former la surface de roulement du rail, il faudrait presque admettre qu'un bon émaillage de silice sur le champignon, dût ou pût être préféré au bon fer. Une surface de roulement, en fer saturé de silice, se désagrégera par pression et par flexion, et le champignon s'usera très-rapidement en lames et en pailles; cela ne saurait être autrement.

Les prescriptions du cahier des charges troublent d'autant plus toute cette idée de fabrication du fer, que lorsqu'on puddle des fontes spéciales, très-carburées, pour obtenir le fer corroyé à grain fin (notons ici du fer corroyé et non pas du puddlé) pour les pièces de forge, telles que les essieux, les bandages, etc., on ne se préoccupe pas le moins du monde de savoir si le puddlé a du grain; au contraire, on a dans toutes les usines la bizarre habitude (*sic*) de rechercher du puddlé à nerf, à fibre très-allongée, claire, presque blanche, et, chose singulière, anormale même, si on se reporte à la théorie du cahier des charges; cela n'empêche pas qu'au premier corroyage, ce puddlé à nerf ne produise ce beau grain fin que nous connaissons. C'est là un grain aciéreux parfaitement naturel; c'est là aussi le bon fer dur et compacte; mais si ce fer est tel, c'est qu'il provient de fontes propres à le donner, et l'on aurait beau composer le paquet d'une manière ou d'une autre qu'on obtiendrait toujours un excellent fer, parce que les fontes contiennent les métalloïdes propres à sa production, savoir : le manganèse, le carbone, etc.

Voilà pourquoi j'ai cru devoir insister pour que l'auteur du cahier des charges veuille bien compléter ses prescriptions, en nous indiquant à quel point il faut arrêter l'affinage, et pour qu'il nous fasse connaître quels sont les éléments hétérogènes qu'il rencontre aussi providentiellement dans toutes les fontes, sans distinction d'usine, et qui jouissent de propriétés si remarquables qu'on a pu en faire la base de son traitement du fer. Sans ces indications, les prescriptions actuelles, incomplètes comme elles sont, ont l'air de renfermer un secret.

En attendant que nous soyons mieux instruit sur le principe que l'on tend à faire prévaloir aujourd'hui, je conclus que les prescriptions du cahier des charges, inutiles en général, et impropres à produire des rails

durables, étant imposées sans distinction d'usine, sans tenir compte des qualités des fontes, ne peuvent que devenir très-funestes pour la durée des rails.

Qu'une usine, par suite d'avantages particuliers, puisse, tout en procédant comme le veut le cahier des charges, fournir un fer plus propre qu'un autre à la production de rails durs, personne ne le contestera, attendu que cet avantage tient aux éléments dont l'usine dispose, et que celle-ci obtiendra toujours les mêmes résultats, quand même elle mettrait de côté les prescriptions du cahier des charges.

Mais, telle autre usine qui, moins favorisée par rapport à ses minerais, pourrait, en affinant bien ses fontes, et procédant suivant les exigences logiques de sa situation, parvenir à nous donner des rails encore très-satisfaisants, sera condamnée, en suivant les prescriptions du cahier des charges, à ne fournir que des rails détestables, sous le rapport des intérêts économiques des chemins de fer.

DE L'ÉCONOMIE DES BANDAGES
ET
DE LA STABILITÉ
DES LOCOMOTIVES

PAR EM. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ.

AVANT-PROPOS.

La question des contre-poids et de la répartition des charges sous les roues peut être envisagée au double point de vue de la sécurité et de l'économie du matériel.

On sait depuis longtemps obtenir une sécurité complète, mais l'économie du matériel laisse encore beaucoup à désirer, et c'est pourquoi nous avons pensé utile de reprendre à nouveau le sujet.

Nous croyons avoir indiqué dans ce mémoire les moyens d'augmenter le parcours des bandages de locomotives dans une proportion de 5, 10, 20, et parfois 50 p. 100.

Ainsi que nous l'avons annoncé, dans une communication que nous avons eu l'honneur de faire à la Société, le 5 juin 1863, nos prévisions et nos méthodes ont trouvé pleine justification dans les résultats d'une série d'expériences entreprises au chemin de fer du Nord depuis plusieurs années, par M. Nozo.

Le mode d'exécution et les résultats détaillés de ces expériences pourraient être l'objet d'un travail spécial qui serait fort intéressant.

Nous remercions notre collègue et ami, M. J. Morandière, du très-utile et obligeant concours qu'il nous a donné.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

Méthodes pratiques pour la répartition des charges sous les bandages et pour la détermination des contre-poids.

I. Exposé général. — Solutions approchées.
II. Méthode pratique d'observation et de correction conduisant aux solutions définitives.
III. Règle et barème pour l'application des contre-poids.

DEUXIÈME PARTIE.

Développements analytiques.

IV. Détails analytiques relatifs aux inerties.
V. De la suspension sur ressorts.
VI. Détails analytiques relatifs aux actions de la vapeur.
VII. Des forces centrifuges composées, produites par le passage en courbe et par le mouvement de lacet.

PREMIÈRE PARTIE.

MÉTHODES PRATIQUES,

pour la répartition des charges sous les bandages et pour la détermination des contre-poids.

I

EXPOSÉ GÉNÉRAL. — SOLUTIONS APPROCHÉES.

Dans les locomotives, les causes de l'instabilité, et de l'inégalité d'usure de bandages sont de quatre espèces différentes, savoir :

1° *Les causes accidentelles* A (bosses de la voie, réactions des rails dans les courbes, etc.);

2° *Les inerties* I du mécanisme; forces périodiques dépendantes seulement du carré de la vitesse $(\pm\omega)^2$, ayant pour période un tour de roue (soit 2π)[1], et prenant pour des situations opposées α et $\alpha+\pi$ de la manivelle des valeurs égales et de signes contraires;

3° *Les actions de la vapeur* V; forces périodiques dépendantes seulement des conditions de la distribution, et changeant le sens avec elle : elles ont pour période un demi-tour de roue (soit π);

4° *Une deuxième espèce d'actions de la vapeur* W est produite par l'inclinaison des cylindres. Ces forces périodiques ne dépendent, comme les forces V, que des circonstances de la distribution et changent de sens avec elle; mais, comme les inerties, elles ont pour période un tour (2π), et elles prennent pour des situations opposées α et $\alpha+\pi$ de la manivelle des valeurs égales et de signes contraires.

Disons d'abord que de bonnes conditions d'établissement et d'entretien atténuent les effets de ces quatre espèces de forces, et peuvent seules remédier aux effets des forces A.

Parlons ensuite des forces V : comme elles sont de nature incompa-

1. Nous omettons les effets bien secondaires dus à l'accélération de la locomotive et à quelques termes qui ont pour période un demi-tour de manivelle : Nous omettons encore des termes de même ordre dans l'évaluation des actions de la vapeur.

tible en tous points avec les inerties, on ne peut évidemment leur opposer des contre-poids; de plus, comme leurs valeurs restent limitées quelques vitesses que l'on atteigne, elles ne sont guère préjudiciables à la sécurité.

Par contre, leur action incessante est extrêmement nuisible à l'économie du matériel et constitue la principale cause de l'usure profonde et inégale des roues, surtout des roues motrices; c'est, du reste, ce que l'expérience a vérifié, et c'est pourquoi nous proposons d'établir la répartition du poids des locomotives de telle sorte que sur chaque roue le poids constant soit réduit en raison de l'intensité des actions V de la vapeur, et qu'ainsi la charge des roues motrices soit beaucoup moindre que celle des autres roues couplées. Cela est surtout nécessaire pour les locomotives les plus usitées, dont les cylindres sont situés en avant de l'essieu moteur [1].

Passons maintenant aux forces I. Comme nous supposons les parties tournantes exactement équilibrées sur chaque essieu, nous ne considérerons désormais que les inerties du piston [2] et de ses contre-poids.

L'inertie du piston produit les mouvements de lacet, de recul, etc., qui nuisent principalement aux bandages et aux attelages; mais comme, d'un autre côté, les contre-poids du piston engendrent des actions verticales qui pourraient faire varier la pression sous le bandage en dehors de la limite supérieure de résistance, et de la limite inférieure indispensable pour prévenir un déraillement, il faut évidemment n'équilibrer qu'une fraction de piston.

Nous proposons de continuer, comme on le fait en général, d'en équilibrer un tiers ou un quart, proportions sanctionnées par une longue expérience, comme permettant de concilier une sécurité complète avec une assez bonne économie.

1. Par anticipation à notre paragraphe 4, nous ferons observer que si en effet les cylindres étaient placés en arrière des roues motrices, ces roues n'auraient pas un aussi grand besoin d'être soulagées, car si les actions V_t tangentielles restent les mêmes quand le cylindre passe à l'arrière, les actions normales V_n changent de signe et soulèvent la roue motrice au lieu de la presser.

2. Nous désignons, pour abréger, par le mot piston, l'ensemble du piston proprement dit, de sa tige, de sa tête et de la partie afférente de la bielle motrice.

Nous ajouterons, par anticipation aux conclusions du paragraphe VI de ce mémoire, que nous prendrons approximativement pour *partie de la bielle motrice afférente au piston*, la masse B_b reposant sur la petite tête, plus $\frac{1}{12}$ de la masse totale B : le reste de la bielle (c'est-à-dire la partie B_a reposant sur la grosse tête moins $\frac{1}{12}$ de la masse totale) sera considérée comme *partie tournante*.

C'est le lieu d'ajouter que nous ne songeons à opposer au piston que des contre-poids placés sur les roues : c'est la seule équilibration que puissent accepter les praticiens, et elle est d'ailleurs bien suffisante.

Il semble rationnel de distribuer les contre-poids du piston par portions égales sur les différents essieux; mais d'après ce que nous avons dit sur l'énorme usure des bandages moteurs, on comprendra pourquoi nous proposons de n'appliquer à la roue motrice aucun contre-poids du piston; et cependant, quand les cylindres ne sont pas horizontaux, il vaut mieux agir autrement, et c'est ce que nous allons faire voir en discutant les forces W.

D'après les caractères de ces forces, on peut, pour certaines circonstances moyennes d'admission et de vitesse, les équilibrer tant bien que mal par des contre-poids, et avec la disposition habituelle du cylindre au-dessus et en avant de l'essieu moteur, ces contre-poids seront d'autant plus utiles que sur la roue motrice, qu'il est si important de soulager, ils s'opposeront à la fois, et en projection verticale aux forces W, et en projection horizontale à l'inertie du piston.

C'est pourquoi nous proposons d'équilibrer sur l'essieu moteur une fraction $\theta\pi$ du poids π du piston déterminée par la formule :

$$\frac{\theta\pi}{g}\omega^2 r = K\,(\gamma.P),$$

Dans laquelle :

r est le rayon de manivelle motrice;

γ l'inclinaison des cylindres;

P la pression moyenne sur le piston;
ω la vitesse angulaire;
} Dans les circonstances moyennes de service.

K un certain coefficient mesurant la fraction de $P\gamma$ incombant à l'essieu moteur. Dans la disposition habituelle de trois essieux à peu près équidistants et de l'essieu moteur à peu près à l'aplomb du *centre de gravité*, on peut admettre $K = \frac{2}{3}$.

Pour les machines à essieux libres, on obtiendrait en général $\theta > \frac{1}{4}$; on ne tiendra pas compte du résultat, et l'on équilibrera un tiers à un quart du piston.

Pour les machines à essieux couplés, on équilibrera le poids θp sur l'essieu moteur[1], et le poids $\left(\frac{1}{3} - \theta\right)\pi$ par contre-poids également ré-

1. On pourrait bien, *par scrupule*, vouloir équilibrer exactement sur l'essieu moteur les composantes verticales des inerties du piston; mais, comme on serait conduit pour cela à des contre-poids différents sur les deux roues d'un même essieu, ce serait une complication, et par suite une source d'erreurs; d'ailleurs, cette correction reviendrait le plus souvent à reculer les deux contre-poids des deux roues d'un même angle à peu près égal à l'angle γ d'inclinaison des cylindres, et comme d'un autre côté l'équilibration des forces W demanderait au contraire que ces contre-poids fussent avancés de quelques degrés, il y a là deux petites erreurs qui tendent à se compenser, et dont il vaut mieux, en définitive, négliger la correction.

partis (s'il se peut) sur les autres essieux couplés : sur ces essieux nous négligeons d'équilibrer les forces W qui y sont très-peu considérables, et dont les contre-poids agiraient le plus souvent, en projection horizontale, dans le même sens que les inerties du piston [1].

Il est à peine nécessaire de faire observer que sur les locomotives marchant aussi fréquemment à l'arrière qu'à l'avant, les forces W qui changent de sens avec la marche ne sauraient être équilibrées par contre-poids.

D'après tout ce qui précède, nos propositions relatives aux genres de locomotives les plus usitées peuvent se formuler comme suit :

Comme solutions approchées et subordonnées bien entendu aux conditions générales d'établissement et de sécurité :

1° *Sur les machines à essieux libres continuer à équilibrer* 1/3 *ou* 1/4 *du piston;*

2° *En général, sur les machines à roues couplées* (avec la disposition ordinaire du cylindre en avant de l'essieu moteur) :

Charger les bandages moteurs beaucoup moins que les autres bandages couplés, et distribuer les contre-poids équilibrant 1/3 *ou* 1/4 *du piston par portions égales sur les divers essieux couplés, à l'exclusion de l'essieu moteur.*

Cas particulier : sur les machines à cylindre incliné situé en avant et au-dessus de l'essieu moteur, qui marchent d'ordinaire en avant, opérer préférablement comme suit : équilibrer sur l'essieu moteur une fraction du piston déterminée par l'équation :

$$\theta\pi \frac{\omega^2 r}{g} = K(\gamma P)$$

et équilibrer le poids $(\frac{1}{3} - \theta)\,\pi$ *avec des contre-poids distribués par portions égales sur les autres essieux couplés.*

Voici quelques applications :

Premier exemple. — Soit une machine ordinaire mixte, de 30 tonnes, avec cylindres extérieurs horizontaux, trois grandes roues couplées équidistantes, et la roue motrice à l'aplomb du centre de gravité général :

Nous proposons d'équilibrer sur chacun des essieux extrêmes $\frac{1}{3}$ du poids des pistons et d'établir, au moins provisoirement, la répartition suivante :

Charges sous les roues	d'avant. . .	10^{t},500	Total. . . 30^{t},000.
—	motrices . .	9 ,000	
—	d'arrière . .	10 ,500	

1. Nous parlerons ici pour mémoire des *machines à cylindres situés en dessous et en avant, ou en dessus et en arrière de la roue motrice.*

Dans ces machines, heureusement bien rares, les forces W ne peuvent s'équilibrer sur l'essieu moteur, car l'inertie des contre-poids qu'on leur opposerait s'ajouterait en projection horizontale à l'inertie des pistons; pour le cas (hypothétique) de cylindres situés en *dessous et en arrière* de l'essieu moteur, il rentrerait absolument dans le cas de cylindres situés au *dessus et en avant*, du moins en ce qui concerne l'équilibration des forces W.

Deuxième exemple. — Soit une machine mixte avec cylindres extérieurs horizontaux à l'avant, une roue motrice de $1^m,800$ au milieu, *une roue couplée* à l'avant, et *une roue de support* à l'arrière; supposons enfin que les répartitions possibles soient celles représentées par la figure I.

Ici la sécurité prescrit de soulager l'essieu d'avant : il y a donc lieu, selon nous, de sacrifier la question d'économie qui présente moins d'importance parce qu'il n'y a que deux essieux couplés et que les roues ont un grand diamètre; aussi croyons-nous préférable de charger les deux roues accouplées du même poids de $10^t,5$. Quant au piston, que nous supposons de 150 kilogrammes, on en équilibrerait un tiers (soit 50 kil.) sur la roue d'avant.

Nous terminerons ce paragraphe par l'indication de quelques moyens pratiques propres à améliorer l'économie des bandages.

Citons d'abord une excellente combinaison étudiée au chemin de fer du Nord : elle consiste à composer des garnitures mixtes, avec des bandages d'acier fondu pour les roues motrices, et des bandages en fer pour les autres roues couplées. On peut alors, par une répartition convenable des poids, rendre les usures sensiblement égales sur toutes les roues.

En second lieu, les bandages des roues de droite et de gauche ne s'usant pas également, on peut, en certains cas, en augmenter notablement les parcours en retournant les essieux montés bout pour bout lorsque les bandages ont éprouvé la moitié de l'usure qui doit nécessiter leur rafraîchissage [1].

On peut enfin, à l'exemple de quelques ingénieurs, intervertir les différents essieux qui composent une même garniture.

II

MÉTHODE PRATIQUE D'OBSERVATION ET DE CORRECTION CONDUISANT AUX SOLUTIONS DÉFINITIVES.

Une fois la répartition des charges et la distribution des contre-poids réglées comme nous l'avons indiqué, on pourra d'abord examiner les résultats en marquant exactement :

1. Ces différences d'usure entre les roues de droite et de gauche proviennent surtout de la disposition des manivelles à angle droit. Elles sont de deux sortes : Il y a d'abord les différences d'usure en travers, qui sont surtout visibles sur les boudins des roues d'avant. Il y a aussi les différences des usures en long, qui proviennent de ce que sur les deux roues, les périodes des actions V sont distantes de $\frac{\pi}{2}$, tandis que les périodes des actions *i* et W sont distantes d'un angle θ qui est obtus ou aigu, selon que les cylindres sont extérieurs ou intérieurs. Cette cause générale de l'inégalité d'usure des roues de droite et de gauche peut se trouver accrue par un défaut de montage : l'emplacement du frein de machine ne doit pas non plus être sans influence.

1° Le diamètre de tournage ou rafraîchissage D de chaque essieu sortant des ateliers.

2° Le diamètre maxima D' auquel le même essieu rentrant aux ateliers eût pu être tourné s'il eût été seul.

Supposons, par exemple, qu'on ait obtenu en moyenne pour des machines à trois essieux couplés les valeurs ci-après de (D — D').

Pour les bandages d'avant chargés à . . . . . 10,300kg, 3mm.
Pour les bandages moteurs id. . . . . 9,400kg, 6mm.
Pour les bandages d'arrière id. . . . . 10,300kg, 4mm.

On essayera la répartition suivante :

Charge sur les bandages d'avant. . . . . 10,500kg.
— moteurs. . . . . 9,000kg.
— d'arrière. . . . . 10,500kg.

On arriverait ainsi par quelques tâtonnements à une égale usure (D—D') de toutes les roues.

Admettons qu'on arrive ici à obtenir sur la roue la plus usée (D—D') = 4 au lieu de la différence (D — D') = 6 que nous avions tout à l'heure; le parcours possible des bandages sera augmenté dans le rapport de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{6}$ c'est-à-dire de $\frac{50}{100}$.

Voici maintenant un procédé plus exact, et plus complet en ce sens qu'il permettra de découvrir toutes les causes du mauvais service des bandages et d'y remédier :

On relève exactement à chaque rafraîchissage l'usure en face de chaque bras, de manière à pouvoir établir pour chaque roue, d'après un certain nombre d'observations, la moyenne des usures maxima et la courbe moyenne d'usure représentée en traits pleins sur la figure II.

Cherchons à analyser ces résultats pour y séparer les effets de trois espèces de forces périodiques :

V actions de vapeur de 1re espèce.
W — de 2e espèce.
I inerties du piston et des contre-poids du piston.

Remarquons d'abord qu'en prenant la moyenne d'un certain nombre d'observations, on élimine l'effet de l'hétérogénéité des bandages, ainsi pour chaque roue, *la moyenne U_o des usures maxima* de chaque relevé est généralement assez supérieure *au maximum U de la courbe moyenne*, et la différence $(U_o - U)$ permet d'apprécier le défaut d'homogénéité.

En second lieu, nous admettons provisoirement qu'il y a relation linéaire :

$$U = aP + bT + cN \qquad (a)$$

entre l'usure U et les forces P,T,N, (verticales et horizontales) qui la produisent. D'après cela, les inerties I et les actions de vapeur de 2e espèce W étant sensiblement égales et de signe contraire pour deux positions

opposées α et $(\alpha + \pi)$ de la manivelle, détermineront une usure U′ de la forme indiquée sur la figure II par un tracé ponctué. Cette usure ne produit aucune diminution sur l'épaisseur moyenne, et par suite sur le *développement de roulement* du bandage.

D'un autre côté, les actions de vapeur V qui ont pour période π produisent des usures de même période. Appelons U″ l'effet résultant des forces V et des charges constantes sur les bandages, les effets U′ et U″ pourront être aisément séparés [1]; il suffit de prendre la moyenne des deux portions *mpn*, *nqm* (fig. II.) de la courbe U correspondantes à deux moitiés de la roue, cette moyenne sera l'usure U″, et la différence U—U″ sera l'usure U′.

Dans le cas de cylindres horizontaux les actions W sont nulles, et comme les I sont sensiblement des fonctions de la forme

$$A \sin \alpha + B \cos \alpha,$$

U′ rapportée à α serait une sinusoïde.

Tout ceci suppose *relation linéaire* entre les causes et les effets, PNT et U. S'il en est ainsi, la décomposition précédente conduira à des résultats partiels U′ U″ égaux pour les deux roues droite et gauche d'un même essieu, l'on aura :

$$U'_d = U'_g$$
$$U''_d = U''_g$$

S'il en est autrement, *la relation linéaire* (*a*) n'est pas exacte, et c'est, en effet, ce qui arrive le plus souvent, parce que les bandages travaillent généralement assez près de leur limite d'écrasement, ce qui doit avoir lieu pour qu'ils soient bien utilisés.

Quoi qu'il en soit, la décomposition précédente permettra toujours de reconnaître :

1° Quelle est l'influence prédominante, celle des inerties ou celle des actions de la vapeur.

2° Quelles sont les modifications à apporter dans les répartitions des charges et des contre-poids sur les différents essieux.

1. *Analytiquement* : Une fonction quelconque $u = f(\alpha)$ développée en série de la forme

$$u = A + B \sin \alpha + C \cos \alpha + D \sin^2 \alpha + E \sin \alpha \cos \alpha + G \sin^2 \alpha + \ldots$$

peut se décomposer en deux parties :

l'une $u' = B \sin \alpha + C \cos \alpha + G \sin^2 \alpha + \ldots$

composée de termes de degré *impair* en sin α et cos α, a pour période 2π et prend des valeurs égales et des signes contraires pour deux valeurs de α différentes de π;

l'autre $u'' = A + B \sin^2 \alpha + E \sin \alpha \cos \alpha + \ldots$

composée de termes de degré *pair* en sin α et cos α, a pour période π. Semblable décomposition pourrait s'effectuer sur une fonction développée en série de la forme

$$u = \Sigma_0 \ (A_m \sin m\alpha + B_m \cos m\alpha).$$

Ayant dans un exemple, séparé, comme il a été dit plus haut, les actions U et U″, on a pu dresser le tableau suivant :

TABLEAU ANALYTIQUE

DES USURES DES BANDAGES DES LOCOMOTIVES A CYLINDRES EXTÉRIEURS ET A TROIS ESSIEUX COUPLÉS [1]

DÉSIGNATIONS.	1er ESSIEU AVANT.		2e ESSIEU MOTEUR.		3e ESSIEU ARRIÈRE.	
	Roue droite.	roue gauche	Roue droite.	roue gauche	Roue droite	roue gauche
Rappel de la répartition des charges sous les bandages.....	10.000kg		10.500kg		10.500kg	
Indication des poids tournants dont l'inertie produit sur chaque roue les usures u'.....	80kg Poids de 1/3 du piston. — Ce poids agit à l'opposé de la manivelle.		80kg Poids tournant non équilibré, faute de place pour loger les contre-poids en fer : ce poids agit suivant l'axe de la manivelle.		80kg Poids de 1/3 du piston. — Ce poids agit à l'opposé de la manivelle.	
	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
Maximas des usures u' dues aux inerties I.....	0.5	0.8	0.7	0.8	0.5	0.4
Maximas des usures u″ dues aux charges constantes et aux actions V de la vapeur.....	2.0	2.2	4.8	4.5	2.9	2.3
Maximas de l'usure totale, résultante u, soit..... U	2.2	2.1	5.4	5.2	2.9	2.5
Effet de l'hétérogénéité : (U_e—U), soit..... H	1.3	1.1	2.6	2.4	1.5	1.3
Déperdition sur le tour[1], soit.. R	4.5	4.8	0.0	0.4	3.6	4.2
Usure totale entre deux rafraichissages U + H + R.....	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

(1) Cette déperdition est motivée par la nécessité de tourner toutes les roues d'une garniture au diamètre déterminé par l'usure V_e de la roue la plus usée, qui est ici la motrice droite.

Discutons successivement ces résultats :

Usures u'. — Il y a lieu de présumer que par des contre-poids convenables, on pourra annuler les usures *u'*, au moins aux points correspondants au maximum des usures *u″*.

Usures u″. — On voit qu'elles sont surtout considérables pour la roue motrice. En réduisant la charge sous cette roue de 1000 kilog., de

1. Cet exemple est purement fictif.

1500 kilog., et plus s'il est nécessaire, on doit arriver à rendre les quantités U″ à peu près les mêmes sur toutes les roues, et égales par exemple à la moyenne de leurs valeurs actuelles, soit :

$$\frac{2,0+2,2+4,8+4,5+2,9+2,3}{6}=3,4\,;$$

mais, supposons que sans obtenir un si bon résultat, on arrive seulement pour la roue motrice droite à la valeur $U''=4,0$; comme on a déjà $u'=o$, on aura somme toute pour cette roue le maximum $U=4$, au lieu de $U=5,4$, et l'effet H de l'hétérogénéité, étant évidemment proportionnel à u, se réduit aussi dans le même rapport, en sorte que l'on doit compter pour la motrice droite sur :

$$H=2.$$

En définitive, la diminution d'épaisseur des bandages les plus usés se trouvant réduite de 8 à 10 mill., le parcours de la garniture se trouvera augmenté dans le rapport de 8 à 6, c'est-à-dire $\frac{133}{100}$.

Nous terminons ce paragraphe en citant un fait assez fréquent et facile à expliquer. Les usures qui proviennent d'une certaine force appliquée à une certaine roue ne s'observent pas seulement sur les bandages de cette roue, elles se reproduisent (plus ou moins réduites) sur les autres bandages couplés.

III

RÈGLE ET BARÊME POUR L'APPLICATION DES CONTRE-POIDS.

La règle ci-après fait connaître immédiatement la masse et la position des contre-poids servant à équilibrer les pièces à mouvement circulaire, et une fraction arbitraire des pièces à mouvement alternatif. Elle convient à un mode quelconque de répartition des contre-poids sur les différents essieux.

RÈGLE GÉNÉRALE.

Chaque fraction de l'attirail moteur ou de l'attirail d'accouplement afférente à un essieu, s'équilibre par deux contre-poids de même masse m *appliqués sur les deux roues.*

Ces contre-poids sont disposés comme l'indique la figure 3 (Pl. 40), *c'est-à-dire symétriquement par rapport à la bissectrice* p q *de l'angle des mani-*

velles[1]. *Leur masse totale est égale à la masse totale qu'ils doivent équilibrer, multipliée par un coefficient K.*

Le coefficient K et l'écartement angulaire θ des deux contre-poids sont déterminés par l'écartement e *des demi-attirails de droite et de gauche*[2], et le tableau suivant en fait connaître une valeur suffisamment exacte[3].

1. Il en résulte que si l'on considère, non plus l'essieu monté, mais chacune des deux roues prises isolément, on verra que chacune d'elles est munie de contre-poids identiques, identiquement placés, et qu'en définitive les roues de droite et de gauche seront de modèles identiques.

2. L'écartement des demi-attirails moteurs d'une machine à cylindres intérieurs est l'écartement d'axe en axe des cylindres.

L'écartement des demi-attirails d'accouplement d'une machine quelconque, s'estime de quelques centimètres inférieur à l'écartement d'axe en axe des bielles d'accouplement, parce que cet attirail comprend les manivelles qui sont situées dans le plan des roues, et par suite moins écartées que les bielles d'accouplement.

L'écartement des demi-attirails moteurs d'une machine à cylindres extérieurs et à roues libres, s'estime de quelques centimètres inférieur à l'écartement d'axe en axe des cylindres, parce que cet attirail comprend les manivelles motrices situées dans le plan des roues, et par suite moins écartées que les cylindres.

Au reste, si l'on voulait être plus exact, on pourrait considérer isolément trois attirails : 1° le moteur, situé dans le plan du cylindre ; 2° l'ensemble des manivelles d'accouplement situées dans le plan des roues ; et 3° l'ensemble des bielles d'accouplement.

3. Le contre-poids est supposé réduit à un point situé sur une circonférence de rayon égal à celui de la manivelle, motrice ou d'accouplement, selon qu'il s'agit de l'attirail moteur ou de l'attirail d'accouplement.

DÉSIGNATION des ATTIRAILS.	e Écartement d'axe en axe des demi attirails de droite et de gauche.	θ Angle d'écartement des résultantes des contre-poids des roues de droite et de gauche.	K Coefficient par lequel il suffit de multiplier la masse à équilibrer pour connaître la masse résultante de chaque contre-poids.	OBSERVATIONS.
	m.	°		
Attirail d'accouplement situé en porte à faux extérieurement à des châssis extérieurs....	2.60	120	1.42	Selon que ρ est supérieur, égal ou inférieur à l'écartement de 1m.50 des plans médians des roues, θ est obtus, droit ou aigu, et K est supérieur, égal ou inférieur à l'unité. — Ce tableau est relatif à un écartement de roues (et par suite de voie) de 1m,50; mais il serait facile de l'adapter à un autre écartement, 1m.75 par exemple, en multipliant les valeurs de e inscrites dans la 2e colonne par $\frac{1,75}{1,50}$.
	2.50	118	1.38	
	2.40	116	1.34	
	2.30	113	1.30	
	2.20	111	1.26	
Attirail d'accouplement ou attirail moteur de machines à cylindres extérieurs.....	2.10	109	1.21	
	2.00	106	1.18	
	1.90	103	1.14	
	1.80	100 1/2	1.12	
Attirails fictifs dans les plans médians des roues.....	1.50	90	1.00	
	1.20	78	0.91	
	1.10	73	0.88	
	1.00	67	0.86	
Attirail moteur de machines à cylindres intérieurs.....	0.90	62	0.83	
	0.80	56	0.81	
	0.70	50	0.78	
	0.60	44	0.76	
	0.50	37	0.75	
	0.40	30	0.74	

Les contre-poids des attirails moteurs ou d'accouplement étant ainsi déterminés séparément, on les compose sur chaque roue, et leurs résultantes sont décomposées en contre-poids partiels que l'on dispose entre les rais, et le plus près possible de la jante, en se rappelant que l'action d'un contre-poids a pour mesure le produit de sa masse par la distance de son centre de gravité à l'axe de l'essieu.

EXEMPLES.

1° *Machines à roues libres* (Pl. 40, *fig.* 4). — L'attirail d'accouplement est nul, les contre-poids de l'attirail moteur sont tout entiers sur l'essieu moteur, et leur écartement θ est obtus ou aigu, selon que les cylindres seront extérieurs ou intérieurs.

2° *Machines à roues couplées et cylindres intérieurs.*— Supposons, comme cela a lieu très-généralement, les manivelles d'accouplement situées à l'opposé des manivelles motrices (fig. 5); considérons l'un quelconque

des essieux, l'essieu moteur, par exemple, soient d_m, g_m, d_a, g_a, les contre-poids de droite et de gauche des attirails moteurs et d'accouplement; on trouve que les contre-poids d_m et d_a, g_m et g_a d'une même roue sont disposés, comme l'indique le croquis, c'est-à-dire presque à l'opposé: leurs résultantes sont très-petites.

3° *Machines à roues accouplées et cylindres extérieurs* (fig. 6). — Supposons, par exemple, trois essieux couplés; les attirails moteurs seront extérieurs aux attirails d'accouplement, et sur chaque essieu [sur l'essieu moteur par exemple] l'angle θ_a des contre-poids de l'attirail d'accouplement sera obtus et moindre que l'angle θ_m des contre-poids de l'attirail moteur. Les contre-poids d_m et d_a, g_m et g_a d'une même roue, sont disposés comme l'indique le croquis, c'est-à-dire presque dans le même sens : leur résultante est donc presque égale à leur somme.

Observons enfin que pour tous les essieux couplés d'une machine à cylindres extérieurs ou intérieurs θ_m et K_m sont constants, et θ_a et K_a à peu près constants.

DEUXIÈME PARTIE.

DÉVELOPPEMENTS ANALYTIQUES.

IV

DÉTAILS ANALYTIQUES SUR LES ACTIONS DE LA VAPEUR.

L'analyse sommaire des actions de la vapeur est exposée par la figure 7, sur laquelle nous allons donner quelques explications :

Les réactions aux extrémités de la bielle motrice peuvent se décomposer en deux :

L'une dirigée suivant l'axe du cylindre a pour valeur P, pression sur le piston.

L'autre, normale à l'axe du cylindre, a pour valeur

$$\varphi = \frac{Pr \sin \alpha}{l} \qquad (1)$$

α étant l'angle décrit par la manivelle, et compté par exemple à partir du point mort d'avant. Or, P changeant de signe en même temps que $\sin \alpha$, on voit que cette force φ prend des valeurs égales pour des positions opposées α et $\alpha + \pi$ de la manivelle, et qu'elle a par conséquent pour période π. — D'après cela, on reconnaîtra facilement qu'en définitive les actions résultantes de la vapeur sur les roues motrices, actions représentées par des flèches en traits pleins, sont (en faisant abstraction des actions horizontales qui ne produisent qu'une pression des boîtes à graisse contre les glissières) :

1° Un couple moteur qui a pour moment

$$M = Pr \sin \alpha + \varphi r \cos \alpha,$$

soit, en substituant à φ la valeur (1) :

$$M = Pr \left(\sin \alpha + \frac{r}{l} \sin \alpha \cos \alpha \right),$$

le terme $\frac{r}{l} \sin \alpha \cos \alpha$ de période 2π étant négligeable, on peut dire que le couple M a pour période π.

2° Un couple résistant qui a pour moment $\left(T\frac{D}{2}\right)$, et qui se répartit sur les diverses roues couplées d'une façon variable, suivant les conditions de montage et d'adhérence, et qui est évidemment de même période π que le premier.

3° Les projections verticales de P et φ, soient :

$P\gamma$ de période 2π,

$\varphi\,(1-\gamma^2)$ sensiblement égal à φ de période π.

Quant aux actions sur la partie suspendue, représentées en traits doubles sur le croquis ci-joint, elles se réduisent sensiblement :

1° A une force φ normale au plan d'axe des cylindres, force de période π, appliquée au centre de gravité G de la partie suspendue;

2° A un couple μ'' de période π égal au produit de la force φ par la distance a de sa position moyenne (le milieu de la glissière) au centre de gravité G;

3° A un autre couple μ', de période π égal au produit de l'effort de traction T par la différence $\left(0^m,97-\frac{D}{2}\right)$ entre la hauteur des attelages et le rayon $\frac{D}{2}$ des roues motrices;

4° A une force verticale $P\gamma$ (de période 2π dirigée à l'aplomb de l'essieu moteur.

La répartition de ces forces sur les divers bandages dépend de la position et de la flexibilité des ressorts de suspension.

D'après tout ce qui précède, on voit que les actions T, φ, μ', μ'', ne changent pas de sens avec P et ont pour période π ; elles forment principalement les actions désignées par V au paragraphe 1 ; tandis que les actions désignées par W sont principalement celles que produit la composante verticale $P\gamma$, due à l'inclinaison des cylindres. On voit que ces actions W changent de sens avec P, qu'elles ont pour période 2π, et qu'elles prennent pour deux positions α et $\alpha+\pi$ de la manivelle des valeurs égales et de signes opposés.

On pourrait calculer exactement en fonction de α les diverses quantités V et W relatives à chaque bandage; il n'y aurait là d'autre difficulté qu'une assez grande complication; mais ce serait inutile puisque l'on ne sait pas exprimer les usures en fonction des forces qui les produisent. Aussi croyons-nous qu'il est bien suffisant de pouvoir acquérir une idée de la grandeur des forces V, en calculant leur valeur moyenne pour un tour de roue et pour les deux cylindres ramenés dans le plan de symétrie. Ce calcul pourrait s'effectuer au moyen de formules exposées dans le tableau suivant :

TABLEAU

Système de formules propres à déterminer la variation moyenne que subit en marche la répartition des locomotives.

Il s'agit de la variation moyenne relative à un tour de roue et aux deux roues d'un même essieu : Pour la déterminer, on a supposé les deux cylindres ramenés dans le plan de symétrie de la machine.

DONNÉES.
- d, l, s, Diamètre, course, surface du piston, en centimètres.
- D, Diamètre de la roue motrice.
- L, Longueur de la bielle motrice.
- a, Distance du milieu de la course de la tête de piston, au centre de gravité G du poids suspendu (c'est-à-dire de la locomotive, abstraction faite des essieux montés.
- N, Nombre d'atmosphères effectives $= (n-1)$ (n étant le timbre de la chaudière).

Expressions des quantités auxiliaires et des résultats.		Observations.
p pression moyenne utile dans les cylindres : pour les vitesses des trains de voyageurs.....	$p = 0{,}6 \times (\mathrm{N}.1^k{,}03)$	Formule de M. Lechatelier. Id. id.
p pression moyenne utile dans les cylindres : pour les vitesses des trains de marchandises.....	$p = 0{,}65 \times (\mathrm{N}.1^k{,}03)$	
T effort de traction moyen pour un tour de roue.....	$\mathrm{T} = p\frac{d^2 l}{\mathrm{D}}$.	Les réactions verticales φ sont dues à l'obliquité de la bielle. La moyenne relative à un tour de roue a été obtenue en prenant les moyennes : 1° des quatre valeurs minima de 2φ correspondantes aux quatre points morts, et qui ont chacune pour valeur $ps\frac{l}{2\mathrm{L}}$ (1);
$2\mathrm{P}$ effort moyen de pression de la vapeur dans les deux cylindres...	$2\mathrm{P} = p\frac{\pi d^2}{2} = 2ps$,	
2φ réaction normale à l'axe du cylindre, à chaque extrémité de la bielle motrice : valeur moyenne relative à un tour de roue de la résultante des deux bielles de droite et de gauche.....	$2\varphi = 0{,}3\,(2\mathrm{P})\frac{l}{\mathrm{L}}$.	2° des quatre valeurs maxima de 2φ, atteintes lorsque les manivelles sont inclinées à 45°, et qui ont pour valeur $ps\frac{l}{2\mathrm{L}}\sqrt{2}$, soit $ps\frac{l}{2\mathrm{L}} \times 1{,}4$ (2). La moyenne des valeurs (1) et (2) est : $ps\frac{l}{2\mathrm{L}} \times 1{,}2 = 0{,}6 \times ps\frac{l}{\mathrm{L}} = 0{,}6\,(2\mathrm{P})\frac{l}{\mathrm{L}}$.
μ' moment du couple formé par l'effort de traction, agissant à la hauteur de $0^m{,}97$ des attelages, et l'action de la vapeur agissant à la hauteur $\frac{\mathrm{D}}{2}$ de l'axe des roues motrices.....	$\mu' = \mathrm{T}\,(0{,}97 - \frac{\mathrm{D}}{2})$,	
μ'' moment des forces φ agissant moyennement au milieu des glissières des pistons.....	$\mu'' = (2\varphi)a$.	
Expression des actions résultantes qui causent les variations de poids :		
sur l'essieu moteur. 2φ action de haut en bas	$2\varphi = 0{,}3\,(2\mathrm{P})\frac{l}{\mathrm{L}}$,	
sur la partie suspendue. 2φ action de bas en haut exercée au centre de gravité G,		
μ couple tendant à renverser la machine vers l'arrière.	$\mu = \mu' + \mu''$.	

Les valeurs moyennes par tour de roue de φ et μ ainsi déterminées conviennent pour toute inclinaison des cylindres.

Lorsque le sens de la marche change, les quantités φ et μ changent de signes simultanément.

Lorsque le cylindre est placé à l'arrière de la roue, les φ changent de signes. Quant à μ, il est déterminé par les positions relatives des glissières et du centre de gravité.

Lorsque les locomotives sont destinées à fonctionner sur des rampes considérables, par exemple de 20 mill. ou plus, il devient nécessaire de compléter les formules approchées du tableau ci-joint par une expression plus exacte du couple μ'.

Commençons par faire observer que le travail résistant, mesuré par exemple dans un tour de roue, $T\pi D$ provient :

1° De l'effet de traction au crochet d'attelage. . . . T_c

2° De la composante parallèle au rail et appliquée au centre de gravité général du poids L de la locomotive que nous supposons gravir une rampe de $\frac{\alpha}{1000}$, soit . . . . . $\frac{\alpha}{1000} L$

3° De la résistance propre de la machine que nous représenterons par B kilog. par tonne, soit. . . . . $\frac{B}{1000} L$

De sorte qu'on a pour expression de la résistance totale. . . . . $T = T_c + \frac{\alpha+B}{1000} L$

La valeur exacte du couple μ' sera, en désignant par H la hauteur du centre de gravité de la locomotive au-dessus du rail :

$$\mu' = \left(0{,}97 - \frac{D}{2}\right) T_c + \left(H - \frac{D}{2}\right) \frac{\alpha}{1000} L.$$

Si au lieu de cette formule en emploie celle-ci : $\mu = \left(0{,}97 - \frac{D}{2}\right) T$ marquée au tableau, on commettra deux erreurs : l'une par excès en substituant T à T_c, et l'autre par défaut en négligeant le terme $\left(H - \frac{D}{2}\right) \frac{\alpha}{1000} L$; jusqu'à des inclinaisons d'environ 20 mill., ces deux erreurs se comprennent en général très-suffisamment.

Pour exemple d'application des formules précédentes, prenons une machine du type du chemin de fer du Nord, supposée destinée à fonctionner sur de longues rampes d'environ 10 à 12 mill., et devant exercer d'une manière à peu près continue la moitié de son effort maximum de traction; supposons six paires de roues couplées, chargées à 10 tonnes, et une paire de cylindres extérieurs horizontaux à chaque extrémité, soient :

$d = 0^m,44$, d'où $\begin{cases} d^2 = 0^{mq},1934. \\ s = 0^{mq},1520.5. \end{cases}$

$l = 0^m,44$,

$D = 1^m,00$.

$L = 1^m,10$, d'où $\frac{l}{L} = \frac{1}{0,25}$.

$a = 3^m,10$.

$N = (n-1) = (10-1) = 9$.

On trouve sensiblement :

$p = 6^{k},00$ (par cm. q.).

$T = 5000^{kg}$ pour chaque groupe de trois essieux couplés.

$2P = 18000^{kg}$ — —

$2\varphi = 2150^{kg}$ — —

$\mu' = T\left(0,97 - \frac{D}{2}\right) = 5000 \times 0,47 = 2350$; soit pour les deux trains $2\mu' = 4700$.

$\mu'' = (2\varphi)a$; soit pour les deux trains $2\mu'' = (2\varphi)A$, A étant la distance du milieu des glissières des deux trains. Ici $A = 6^{m},200$; d'où en nombre ronds :

$2\mu'' = 2150 \times 6.2 = 13,400$.

$2\mu = 2\mu' + 2\mu'' = 18,100$.

Supposons que dans chaque train les ressorts soient réunis par des balanciers compensateurs, de telle manière que les charges demeurent à peu près égales sous toutes les roues; supposons de plus que les deux essieux moteurs soient distants de $3^{m},70$, le couple 2μ aura pour effet de reporter sur chacun des essieux d'arrière

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{2\mu}{3,70}, \text{ soit } \frac{1}{3} \cdot \frac{18100}{3,7} = 1700.$$

Comme de plus les essieux moteurs *N* et *R* sont : l'un, chargé de $2\varphi = 2150$, l'autre déchargé de la même quantité, les charges primitives de 10,000 kil. deviendront en définitive :

Sur l'essieu	*N*..	10.000 — 1700		= 8300
—	*moteur N*..	10.000 — 1700	+ 2150	= 10450
—	*milieu N*..	10.000 — 1700		= 8300
—	*milieu R*..	10.000 + 1700		= 11700
—	*moteur R*..	10.000 + 1700	— 2150	= 9550
—	*R*..	10.000 + 1700		= 11700

Il est bien vrai que nous avons calculé l'effort de traction à son maximum, et que si sa valeur moyenne était de moitié moindre, les variations précédemment calculées devraient être diminuées de moitié; mais comme d'un autre côté les résultats précédents ne sont pas les charges maxima qui déterminent en certains points des bandages le *maximum d'usure*, et conséquemment le parcours, comme ce sont seulement des moyennes relatives à deux cylindres et à un tour de roue, on ne sera pas éloigné de la vérité en disant que dans les circonstances habituelles, et par le seul fait des actions de la vapeur, la pression sous chaque bandage subit à chaque demi-tour de roue les variations $\frac{1}{2}$ 1700 et $\frac{1}{2}$ 2150 kil. indiquées ci-dessus.

Mais, comment remédier aux inégalités d'usure causées par ces variations normales V_n? Deux moyens s'offrent à l'esprit :

C'est d'abord de faire travailler ces *machines-tenders* aussi fréquemment vers l'arrière que vers l'avant, car ces forces V_n changeant de sens avec la marche, leurs effets tendront à s'annuler.

C'est ensuite, si les locomotives doivent marcher habituellement vers l'avant, de pratiquer le retournement et l'échange des différents essieux, et de régler la répartition au repos de manière à compenser une bonne partie des forces V_n; les deux tiers, par exemple. Nous disons une *bonne partie* et non pas la totalité, afin que la répartition ne devienne pas trop mauvaise dans la marche arrière, alors que les V_n auront changé de sens.

Il n'a été question jusqu'ici que des actions V_n normales aux bandages; parlons maintenant des actions tangentielles V_t. Ces actions sont surtout considérables pour la roue motrice, et bien qu'elles changent de sens avec la marche, leurs effets ne tendent évidemment pas à s'annuler. Il y a donc là un motif d'effectuer une réduction à la charge des bandages moteurs. Admettons que ce soit, dans l'exemple que nous avons pris, une réduction de 400 kilog.; on pourra, d'après tout ce qui précède, régler la répartition de ces locomotives supposées destinées à fonctionner vers l'avant, ainsi qu'il est indiqué par le tableau ci-après :

DÉSIGNATION DES ESSIEUX.	RÉPARTITIONS[1]		
	AU REPOS.	Moyennes sous un effort de traction de 5000[k] (pour chaque groupe). MARCHE AVANT.	MARCHE ARRIÈRE.
1er essieu..... A	$10000 + \frac{2}{3}\,1700 + \frac{400}{2} = 11350$	$11350 - 1700 = 9650$	$11350 + 1700 = 13050$
2e id. *moteur*..... A	$10000 - \frac{2}{3}\,450 - 400 = 9300$	$9300 + 450 = 9750$	$9300 - 450 = 8850$
3e id. *milieu*..... A	$10000 + \frac{2}{3}\,1700 + \frac{400}{2} = 11350$	$11350 - 1700 = 9650$	$11350 + 1700 = 13050$
4e id. *milieu*..... R	$10000 - \frac{2}{3}\,1700 + \frac{400}{2} = 9050$	$9050 + 1700 = 10750$	$9050 - 1700 = 7350$
5e id. *moteur*..... R	$10000 + \frac{2}{3}\,450 - 400 = 9300$	$9300 - 450 = 9450$	$9300 + 450 = 10350$
6e id..... R	$10000 - \frac{2}{3}\,1700 + \frac{400}{2} = 9050$	$9050 + 1700 = 10750$	$9050 - 1700 = 7350$

1. Il est à remarquer que les variations V_n telles que nous les avons calculées, ne sont pas définitivement exactes, parce que les bras des balanciers compensateurs sont inégaux; il y a deux raisons de cette inégalité : la première, c'est que l'essieu moteur étant par lui-même plus lourd que les autres essieux couplés, il faut lui faire porter une moindre partie du poids suspendu; la seconde, c'est que nous avons encore augmenté l'inégalité de la répartition (au repos) des poids suspendus. Ces corrections des valeurs V_n sont d'ailleurs tellement faciles qu'il nous semble inutile d'insister sur ce point.

V

DE LA SUSPENSION SUR RESSORTS.

Une fois les quantités μ et φ calculées comme nous l'avons indiqué, reste à savoir comment leurs effets sont répartis sur les divers essieux.

Cela est très-facile quand il s'agit, comme dans l'exemple précédent, d'une machine à *répartition déterminée*, et ce sera bientôt le cas le plus général, puisque l'heureux emploi des balanciers compensateurs devient tous les jours plus fréquent.

S'il s'agit, au contraire, d'une locomotive reposant sur plus de deux paires de ressorts indépendants, le calcul est assez compliqué, car on doit faire intervenir pour chaque ressort les flexibilités K et les coordonnées qui sont, par exemple, les distances x et y du milieu du ressort au centre de gravité G; distances comptées parallèlement et normalement au plan de symétrie de la locomotive. En supposant que les flexibilités soient constantes sous toutes les pressions et que le châssis soit complétement rigide, on arrive à exprimer les flexions de chaque ressort par des fonctions linéaires des forces appliquées, à savoir : φ force verticale, μ couple agissant dans un plan vertical parallèle à la voie[1] et μ_1, couple agissant dans un plan vertical perpendiculaire à la voie.

Nous nous bornerons à considérer le simple cas où les ressorts étant distribués à peu près symétriquement à l'avant et à l'arrière, on peut admettre que sous l'influence des seuls couples μ et μ_1, le centre de gravité de la partie suspendue resterait à peu près immobile. Dans ce cas, les déplacements du châssis, définis par les inclinaisons α et β longitudinales et transversales, et par le déplacement vertical z du centre de gravité, ont pour expression

$$(1)\quad \begin{cases} \alpha = \dfrac{\mu}{\Sigma\left(\dfrac{x^2}{K}\right)} \\ \beta = \dfrac{\mu_1}{\Sigma\left(\dfrac{y^2}{K}\right)} \\ z = \dfrac{\varphi}{\Sigma\left(\dfrac{1}{K}\right)} \end{cases}$$

1. Supposons les actions verticales ramenées dans le plan médian de la machine; cela reviendra à supposer $\mu_1 = o$, comme nous avons fait au paragraphe 4; l'autre couple vertical y a été désigné par 2μ, pour rappeler qu'il provient de deux cylindres.

Dans ces formules qu'a données M. Vojacek, ancien élève de l'École polytechnique de Prague :

Le coefficient $\Sigma\left(\frac{x^2}{K}\right)$ mesure la résistance de la locomotive au mouvement de galop;

Le coefficient $\Sigma\left(\frac{y^2}{K}\right)$ mesure la résistance de la locomotive au mouvement de roulis;

Le coefficient $\Sigma\left(\frac{1}{K}\right)$ mesure la résistance de la locomotive au mouvement vertical.

Si l'on observe que les coordonnées x et y entrent au carré dans les formules (1), on comprendra combien la position des ressorts influe sur la stabilité[1].

VI

DÉTAILS ANALYTIQUES RELATIFS AUX INERTIES.

L'équilibration des pièces animées de mouvements circulaires ou alternatifs étant extrêmement simple, nous nous proposerons surtout d'analyser les inerties de la bielle motrice.

Cependant, comme il se peut que plusieurs de nos lecteurs n'aient pas encore réfléchi sur ces matières ou qu'ils désirent savoir comment nous sommes arrivés à dresser le barême qui fait l'objet du paragraphe III de ce mémoire, nous leur proposons la méthode suivante pour étudier l'équilibration des pièces à mouvement circulaire ou alternatif.

Remarquons préalablement que pour équilibrer l'attirail d'accouplement, il va sans dire qu'on opposera à la masse afférente à chaque roue un contre-poids équivalent situé à l'opposé de la manivelle. — Reste donc à considérer seulement l'attirail moteur : s'il était exactement situé

1. Si cependant on n'admettait pas la coïncidence du centre de gravité G avec le centre 0, d'oscillation, on pourrait, au lieu des formules précédentes (1) employer celles-ci, qui supposent toutefois $\mu_1 = o$:

$$(2)\quad \begin{cases} \alpha = +\mu \dfrac{\Sigma_0}{\Sigma_2\Sigma_0 + \Sigma_1^2} - \varphi \dfrac{\Sigma_1}{\Sigma_2\Sigma_0 + \Sigma_1^2}, \\ z = -\mu \dfrac{\Sigma_1}{\Sigma_2\Sigma_0 + \Sigma_1^2} + \varphi \dfrac{\Sigma_2}{\Sigma_2\Sigma_0 + \Sigma_1^2}. \end{cases}$$

Dans ces équations $\Sigma_0\,\Sigma_1\,\Sigma_2$ désignent pour abréger : $\Sigma\left(\frac{1}{K}\right)$, $\Sigma\left(\frac{x}{K}\right)$, $\Sigma\left(\frac{x^2}{K}\right)$. Pour vérification, nous ferons observer que l'hypothèse de la coïncidence des points G et 0 revient à celle-ci : $\Sigma_1 = o$, et qu'alors les équations (2) se réduisent aux équations (1).

dans le plan de la roue, on devrait aussi l'équilibrer par l'application d'un contre-poids situé à l'opposé de la manivelle motrice.—Ceci établi, prenons une locomotive quelconque, et appliquons virtuellement deux nouvelles roues sur l'essieu moteur, et dans le plan des cylindres, les contre-poids cc supposés appliqués sur ces roues fictives devront être situés à l'opposé des manivelles motrices; mais il est évident qu'on peut décomposer chacun d'eux en deux autres c' c'' situés sur les roues réelles et qui exerceront sur l'essieu monté une action équivalente (au moins au point de vue de l'équilibre sous vitesse uniforme).

En définitive, ces deux contre-poids cc des roues fictives donneront pour chacune des vraies roues un contre-poids C résultant de deux autres c' et c'', et dont l'écartement angulaire θ et le rapport $K = \frac{C}{c}$ au contre-poids fictif ne dépendent évidemment que du rapport de l'écartement des cylindres à l'écartement des vraies roues.

Revenons maintenant à la question de la bielle motrice :

Prenons pour axe des x (*fig.* 8) l'axe ox de la machine, et pour axe des y une perpendiculaire à ox.

Soient o le centre de l'essieu moteur, ob la manivelle supposée de longueur r et ab, la bielle motrice supposée de longueur l et entièrement condensée sur son axe ab.

Soit α l'angle décrit par la manivelle; les coordonnées d'un point quelconque m de cette bielle seront, en représentant par m la masse de ce point et par θl et φl ses distances aux deux articulations a et b,

$$\begin{cases} x = -r\cos\alpha + \varphi\sqrt{l^2 - r^2\sin^2\alpha} \\ y = +\theta r\sin\alpha. \end{cases}$$

Ou en posant pour abréger $\begin{cases} \cos\alpha = c. \\ \sin\alpha = s. \\ \sqrt{l^2 - p^2\sin^2\alpha} = R. \end{cases}$

$$\left.\begin{array}{l} x = -rc + \varphi R \\ y = +\theta rs \end{array}\right\} \text{ D'où il résulte que } \begin{cases} \dfrac{d^2x}{d\alpha^2} = +rc + \varphi\dfrac{d^2R}{d\alpha^2}, \\ \dfrac{d^2y}{d\alpha^2} = -\theta rs. \end{cases}$$

D'après cela, les projections sur ox et oy, et le moment par rapport à o, des inerties du point m, sont, en posant $\frac{d\alpha}{dt} = \omega$:

$$\frac{m\,d^2x}{dt^2} = m\omega^2\frac{d^2x}{d\alpha^2} = m\omega^2\left(rc + \varphi\frac{d^2R}{d\alpha^2}\right),$$

$$\frac{m\,d^2y}{dt^2} = m\omega^2\frac{d^2y}{d\alpha^2} = m\omega^2\left(-\theta rs\right),$$

$$m\left(\frac{d^2x}{dt^2}y - \frac{d^2y}{dt^2}x\right) = m\omega^2\varphi\theta rs\left[R + \frac{d^2R}{d\alpha^2}\right].$$

Appliquant cette décomposition à tous les points de la bielle, et remplaçant les deux forces résultantes appliquées en b par deux forces égales et parallèles appliquées en o et par deux couples (qui agissent sur la roue), on voit que les inerties de la bielle équivalent au système de forces représentées sur la figure 9, dans laquelle on a écrit pour abréger :

$\Sigma m = B$. . . . . Masse totale de la bielle.
$\Sigma m\theta = B_b$ . . . . Masse de la bielle reposant sur l'articulation b,
$\Sigma m\varphi = B_a$ . . . . Masse de la bielle reposant sur l'articulation a.
$\Sigma m\theta\varphi = B_c$.

et par suite :

$$\Sigma m\theta^2 = B_b - B_c,$$

et dans laquelle on omet de représenter le couple de période π agissant sur l'essieu moteur (couple qu'il est impossible d'équilibrer par des contre-poids appliqués aux roues) et aussi la composante $\left[(B_a - B_c)\,\omega^2 \frac{d^2R}{d\alpha^2}\right]$ dirigée suivant ox, parce que cette composante est comme $\frac{d^2R}{d\alpha^2}$ de degré pair en sin α et cos α, et qu'ainsi elle est de période π, et ne peut s'équilibrer par des contre-poids appliqués aux roues.

Le moment par rapport à un point quelconque, o, par exemple, de $B_c\,\omega^2 rs$ appliqué au point a, a pour mesure très-approchée :

$$B\omega^2 rs\,(l - rc) = B\omega^2 rls - B\omega^2 r^2 sc,$$

c'est-à-dire qu'il comprend deux termes, dont le second étant de degré pair en sin α et cos α, ne peut s'équilibrer et doit être négligé. On est ainsi conduit à supposer la force verticale $B_c\omega^2 rc$ constamment appliquée au milieu h de la course du piston. Cette force, appliquée à la partie suspendue, se répartira suivant la flexibilité et la position des ressorts sur les différents essieux[1].

En résumé, les inerties de la bielle produisent le même effet que les inerties :

1° D'une masse $(B_b - B_c)$ appliquée au bouton de manivelle, et qu'ainsi l'on ajoutera à la masse des pièces tournantes;

2° D'une masse $(B_a + B_c)$ appliquée à la tête de piston, et que l'on ajoutera à la somme des masses animées d'un mouvement alternatif;

3° D'une masse B_c animée d'un mouvement alternatif $y = rs$, suivant la parallèle à oy menée au point h.

1. Cette correction est bien facile, mais nous ne la croyons pas nécessaire, eu égard aux forces qu'on ne peut pas équilibrer et aux variations de poids que subissent continuellement les pièces d'une locomotive que l'on perfectionne tous les jours.

Comme l'on a en général[1] assez approximativement $B_e = \frac{1}{12} B$, la masse de la bielle motrice peut se décomposer comme suit :

1° Une partie à mouvement alternatif $\left(B_a + \frac{B}{12}\right)$;

2° Une partie tournante $\left(B_b - \frac{B}{12}\right)$.

VII.

DES FORCES CENTRIFUGES COMPOSÉES PRODUITES, SOIT PAR LE PASSAGE EN COURBE, SOIT PAR LE MOUVEMENT DE LACET.

Le calcul suivant, dont la pensée première a été conçue par M. Nozo, montrera l'importance de l'une de ces perturbations qui se produisent inévitablement en marche, et qui rendent illusoire toute détermination exclusivement mathématique des contre-poids d'une locomotive.

Voyons d'abord quel est l'effet du passage en courbe : considérons un essieu monté, les forces centrifuges composées produites dans ce double mouvement de rotation autour de l'essieu et de rotation autour du centre de la courbe (*fig.* 10), se réduisent à un couple M, qui a pour expressions :

$$(a) \qquad M = I\Omega\omega \quad \text{ou} \quad M = \frac{IV^2}{R\rho},$$

I étant le mouvement d'inertie de l'essieu monté, autour de son axe;
R étant le rayon de la roue;
ρ le rayon de la courbe;
V la vitesse en mètres de la locomotive;
$\omega = \frac{V}{R}$ la vitesse angulaire de l'essieu autour de son axe;
$\Omega = \frac{V}{\rho}$ la vitesse angulaire de la locomotive autour du centre C.

Le couple M a pour effet d'enlever une partie p de la charge à la roue située vers l'intérieur de la courbe et de la rejeter sur l'autre roue.

La quantité p est facile à calculer :

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un essieu moteur muni de

1. On arrive au même résultat $B_e = \frac{B}{12}$, soit que l'on suppose la masse de la bielle uniformément répartie sur sa longueur l, soit qu'on la divise en trois masses égales condensées à chaque extrémité et en son milieu.

roues de $2^m,30$, et pesant au total 3,500 kilog., que l'on peut approximativement décomposer ainsi :

Jante et bandages.	1500 kilog.
Rais.	1500 —
Essieu.	500 —

On en conclut approximativement I = 250.

Supposons que la machine ait une vitesse de 25 mètres par seconde (ce qui correspond à 90 kilom. à l'heure), et qu'elle se meuve en courbe de 500 mètres, on aura pour la valeur de M fournie par la formule (*a*) :

$$M = \frac{250 \times 625}{1{,}15 \times 500} = 272,$$

et l'écartement des rails étant supposé de $1^m,50$, on aura :

$$p = \frac{272}{1{,}50} = 181 \text{ kilog.}$$

Les forces composées dues au passage dans les courbes sont donc en général extrêmement faibles : il n'en est pas de même de celles qui sont dues au mouvement de lacet, nous entendons le mouvement de lacet de *l'essieu moteur*, lacet qui est dû aux inerties des pièces, aux actions de la vapeur, et plus encore aux inégalités de la voie.

Et d'abord, pour nous ramener au cas précédent, nous composerons à chaque instant, en un moment circulaire, le mouvement de translation de la machine (sur une voie rectiligne, par exemple) avec le mouvement de lacet.

Le lacet peut s'assimiler approximativement[1] à un mouvement sinusoïdal, qui peut s'écrire :

$$\varepsilon = e \sin (\alpha + \delta),$$

si l'on admet qu'une double oscillation s'exécute dans un tour de roue, et si l'on adopte les notations ci-après :

ε angle d'écartement de l'axe de la machine sur celui de la voie;

e valeur maxima de l'angle ε dans chaque oscillation;

α l'angle décrit par la manivelle de gauche depuis le point mort d'arrière;

δ un certain angle qui mesure l'avance du mouvement de lacet sur le mouvement de la manivelle de gauche.

Le rayon du cercle instantané de rotation a pour valeur approchée pour chaque position α de la manivelle :

$$\rho = \frac{V}{\frac{d\varepsilon}{d\alpha} \times \frac{d\alpha}{dt}} = \frac{R}{\frac{d\varepsilon}{d\alpha}},$$

1. Je dis approximativement, parce que la machine n'est pas libre, comme on le suppose dans les calculs habituels.

et pour minimum la valeur :

$$\rho = \frac{R}{e}.$$

Supposons $R = 1^m,00$, et $e = \frac{1}{100}$,

ce qui, d'après les observations, n'a rien d'exagéré, l'on a :

$$\rho = 100^m.$$

On en conclut, en se reportant à la formule (*a*) et aux exemples numériques donnés dans ce paragraphe, que les forces composées dues au mouvement de lacet paraissent bien plus importantes que celles dues au passage en courbe, et l'on voit aussi par là qu'un choc qui changerait brusquement la direction d'une locomotive, pourrait, *par le seul fait des inerties composées*, produire le renversement ou le déraillement de cette locomotive.

NOTE

SUR LE LAVOIR A CHARBON

DE M. M. FOREY

PAR M. IVAN FLACHAT

La proportion des matières étrangères mêlées à la houille est très-variable; tantôt la houille en contient fort peu, tantôt, au contraire, elle se trouve elle-même en faible proportion dans les terrains carbonifères. Entre ces deux extrêmes se trouvent tous les bassins houillers, exploités ou non; l'exploitation s'arrêtant là où la houille se trouve en trop petite quantité pour payer les frais de séparation d'avec les matières étrangères qui passent dans les cendres.

Ces matières étrangères sont de diverses natures et diversement interposées dans le charbon. On y trouve des sulfures de fer ou pyrites, des sulfates et carbonates de chaux, des argiles, des roches siliceuses ou calcaires, et des minerais de fer. Elles sont parfois en gros morceaux et se séparent facilement au pic et à la main. Le plus souvent elles sont en petits fragments plus ou moins intimement mélangés avec le charbon, et dans certains bassins houillers, on est dans l'obligation de broyer la houille pour les séparer suffisamment.

Généralement leur pesanteur spécifique est supérieure à celle du charbon; en mettant l'ensemble en suspension dans l'eau, puis en le laissant reposer, les parcelles les plus lourdes se précipitent les premières, et la houille la plus pure occupe la partie supérieure.

Cette opération se réalise souvent, en pratique, sous le nom de *lavage* de la houille, et les appareils au moyen desquels elle s'exécute sont très-nombreux et très-variés.

On a d'abord commencé par exposer la houille même à un courant d'eau rapide, dans des conduits en bois; les matières les plus lourdes se déposent d'abord, la houille la plus pure est entraînée et reçue dans des caisses où elle se dépose à son tour. La classification se fait ainsi en lon-

gueur, et on ramasse à la pelle les pyrites, les schistes, la houille cendreuse et la houille épurée, suivant leur ordre de densité. Ce mode de lavage, usité encore en beaucoup d'endroits, convient spécialement aux charbons très-fins; mais il a l'inconvénient de consommer beaucoup d'eau, environ trois fois le poids du charbon lavé.

De tous les appareils mécaniques employés jusqu'ici pour le lavage de la houille, le plus efficace, le plus répandu et le moins coûteux, est le *bac à piston* ou *caisse à piston*, que l'on trouve sur presque toutes les exploitations. C'est aussi le plus simple, et peut-être le plus ancien, et c'est lui qui, à la suite d'une étude comparative faite par les soins de la *Société de l'industrie minérale* de Saint-Étienne, en 1857 et 1858, a été classé au premier rang comme perfection de lavage.

Malheureusement ces importants avantages sont achetés au prix d'une main-d'œuvre coûteuse, et le rapport de la commission nommée par la *Société minérale* établit le prix de revient à 0f,77c. par tonne lavée.

M. M. Forey, membre de la Société des Ingénieurs civils, et directeur des hauts fourneaux de Montluçon et des services extérieurs de la mine de Commentry, a été assez heureux pour perfectionner cet appareil au point d'obtenir l'excellent lavage du bac à piston à un prix voisin de DIX CENTIMES par tonne de charbon lavé. En obtenant un travail continu au lieu d'un travail intermittent, la production a été aussi augmentée dans des proportions considérables, et le bac à piston qui ne produisait guère que dix tonnes de menu lavé par jour, en produit maintenant environ QUINZE FOIS autant, plus ou moins, suivant la grosseur du menu.

L'appareil représenté planche 41 se compose essentiellement d'une grande caisse divisée en deux compartiments inégaux par une cloison verticale. Dans le plus petit se meut un piston creux AA fait comme celui des bacs à piston ordinaires. Il reçoit le mouvement d'une machine à vapeur, par l'intermédiaire d'une manivelle à mouvement différentiel qui le fait monter plus lentement qu'il ne descend. La houille brute arrive par la trémie B sur la grille RR, portant une toile métallique au travers de laquelle passe l'eau refoulée par le piston. A chaque tour de manivelle, elle est alternativement soulevée par le courant d'eau, et abandonnée à l'action de la gravité. Le classement des matières par ordre de densité se fait à ce moment. Il importe donc que le mouvement d'ascen-

sion du piston se fasse assez lentement pour que l'eau ne puisse agir par entraînement et classer les fragments suivant leur poids absolu, au lieu de leur pesanteur spécifique. Cette condition est parfaitement réalisée dans l'appareil de M. Forey. Le nombre de tours de manivelle est de 20 à 22 par minute.

La grille étant inclinée vers un de ses angles, la houille soulevée à chaque coup de piston fait, en retombant, un petit parcours horizontal, et arrive, de proche en proche, à l'autre extrémité, près de la roue à palettes Q et de la porte G. A ce moment, la séparation par ordre de densité est parfaite, et le piston a donné environ 65 à 70 coups. Le charbon lavé occupant la partie supérieure est déversé sur le coursier F où la roue à palettes C le rejette au dehors, et si l'on veut, directement dans les wagons qui servent au transport.

Les schistes et pyrites s'accumulent dans la partie la plus déclive de la grille où est ménagée l'ouverture G. On les évacue, de temps à autre, par le compartiment H et la vanne I. Mais avant d'ouvrir cette vanne, on ferme la porte de l'ouverture G, pour éviter l'entraînement du charbon par le courant d'eau. Cette porte est ouverte habituellement, mais au moment de la mise en train on la tient fermée jusqu'à ce que la couche de schiste ait atteint une épaisseur suffisante pour dépasser le niveau inférieur de la cloison K. Celle-ci, située à 8 ou 10 centimètres de la grille, a pour but d'empêcher le charbon de passer avec les schistes.

Les parties les plus ténues passent à travers la grille dans la caisse P, dont les parois inclinées les réunissent dans un conduit E où elles se rassemblent, et d'où on les expulse en ouvrant la vanne L.

Toutes ces vannes se manœuvrent simplement au moyen de leviers, et s'ouvrent de bas en haut.

La houille est fournie à la trémie B d'une manière intermittente ou continue. Son arrivée est indépendante du mouvement de la machine, pourvu que la trémie qui en peut contenir 30 à 40 hectolitres, soit maintenue constamment chargée. Au bas de la trémie, une partie du charbon est entraînée par l'eau à chaque coup de piston et amenée peu à peu vers la roue à palette, qui fait de 1 à 2 tours par minute.

L'arrivée de l'eau a lieu par un conduit débouchant dans la trémie. La consommation est d'environ 6 à 7 mètres cubes d'eau par heure, ce qui représente environ le $\frac{1}{8}$ du poids de la houille. Cette consommation est trop considérable encore, mais à Commentry on n'emploie jamais deux fois la même eau, comme cela se fait souvent en reprenant l'eau avec des pompes après qu'elle s'est épurée en passant dans un labyrinthe. Si on avait quelque intérêt à ménager l'eau, la consommation effective serait sans importance, 10 à 15 0/0 du poids de la houille seulement.

On voit par ce qui précède, combien les dispositions de la machine de M. Forey l'emportent sur celles du bac à piston. Tandis que dans celui-ci, le charbon doit être péniblement enlevé à la pelle à chaque opération, dans l'autre il s'écoule de lui-même, au fur et à mesure de son épuration. Tandis que, dans le bac à piston, les schistes doivent être enlevés à la pelle à un moment donné, il suffit, dans la machine de M. Forey, d'appuyer la main sur un levier pour les laisser écouler par leur propre poids. Cet avantage, bien que faible en apparence, a une importance extrême en pratique.

On comprend fort bien, en effet, que l'enlèvement des schistes dans le bac à piston ordinaire étant une opération pénible et désagréable, l'ouvrier recule le plus possible le moment de le faire, afin d'en réduire le nombre par journée de travail. Souvent, s'il n'est pas suffisamment surveillé, il ne se décide à la faire qu'au moment où il voit les schistes passer dans le charbon, et s'il n'est pas intéressé à son travail, il attend encore. Le lavage, dans ces conditions, est à refaire complétement, et la main-d'œuvre qu'on y a consacrée est sacrifiée en pure perte. — Mais, alors même que le travail se fait convenablement, l'ouvrier doit diviser en trois catégories les matières qu'il trouve sur les grilles. En effet, la séparation mécanique des schistes d'avec la houille ne se fait pas d'une manière absolue à un niveau déterminé. A la partie supérieure, sont les charbons les plus purs, à la partie inférieure les schistes et pyrites les plus impurs, et la partie intermédiaire est un mélange des matières incomplétement séparées, qui doit être ajouté à la houille brute de l'opération suivante. Dans la machine, le dégagement des schistes se faisant par la couche inférieure, les plus impurs sont expulsés les premiers, et les parties moyennes restent d'elles-mêmes sur la grille pour être lavées plus complétement.

Pour l'enlèvement des boues qui, dans la machine, s'écoulent simplement dans la caisse et le conduit, l'avantage n'est pas moindre, car dans le bac, l'ouvrier doit décharger complétement les grilles, les enlever, enlever aussi le cadre en bois qui les soutient, vider l'eau, et enlever les boues à la pelle. Quelquefois les boues sont argileuses et tenues en suspension dans l'eau : on les laisse alors écouler simplement; mais cette circonstance est assez exceptionnelle.

On remarquera aussi que dans le bac à piston, le frottement de la pelle contre les grilles, lors de l'enlèvement des schistes, est une cause d'usure et de détérioration. Aussi prend-on la précaution de mettre la toile de tissu très-fin nécessaire au lavage, entre deux toiles à treillis plus large, qui servent à la soutenir et à la protéger contre le choc de la pelle. Les mailles des toiles supérieures et inférieures ont 2 à 3 millimètres de côté, celles de la toile du milieu n'ont quelquefois qu'un demi-millimètre. Lorsque les eaux sont acides, ce qui est le cas le plus ordinaire, les toiles sont en fil de laiton; à Commentry, il a fallu même employer le cuivre

rouge pur. Ces toiles sont très-rapidement usées dans les bacs ordinaires. L'entretien de la toile unique de la machine de M. Forey, simplement supportée par une grille en fonte, est beaucoup moins coûteux. L'enlèvement du charbon, des schistes et des boues, se fait sans aucun dommage pour elle, et sans qu'il soit besoin d'arrêter le lavage. Ceci explique l'énorme production de cet appareil, et son efficacité comme perfection du produit obtenu.

Toutes les parties de la machine susceptibles d'être détériorées par l'acidité des eaux, sont en bois; aussi sa durée sera certainement très-longue, et les frais d'entretien sont presque nuls. Elle est, en outre, peu coûteuse à établir, et facilement amovible ou locomobile.

La force absorbée est estimée à trois chevaux environ.

Quant au prix de revient du lavage, en admettant que la houille brute soit fournie à la trémie alimentaire directement par le déchargement des wagons, et que la houille lavée soit reprise aussi directement dans d'autres wagons, voici comment il se décompose :

Deux ouvriers pour verser la houille brute à 2 fr. 50.	5 fr.	»»
Deux ouvriers pour recevoir le charbon lavé à 2 fr. 50. . . .	5	»»
Un enfant pour la manœuvre des vannes et la surveillance de la machine.	1	50
Un mécanicien chauffeur.	3	»»
200 kilogr. de terre houille pour produire la vapeur.	1	»»
Graissage	1	50
Entretien des courroies et de la machine.	1	»»
Total.	18	»»

Comme les machines à laver sont généralement rangées par batteries, desservies par une seule machine à vapeur et un arbre de transmission, le salaire du chauffeur mécanicien doit être réduit proportionnellement au nombre de lavoirs, et le chiffre de la dépense par jour fixé au total à 18 fr., un peu réduit de ce chef.

Avec cette dépense, on lave en moyenne 160 tonnes par jour, ce qui donne pour chacune d'elles une dépense de $0^f,1125$. En y ajoutant l'amortissement de la machine, on arriverait à $0^f,13^c$. environ.

Le prix du lavage dans les bacs à piston mus à bras d'homme varie de $0^f,45$ à $0^f,77$ par tonne, même 1 fr., quand les charbons sont moins purs; dans les bacs mus à vapeur, il ne descend guère au-dessous de $0^f,375$ à $0^f,40^c$.

Au point de vue du capital engagé, la comparaison peut s'établir ainsi : Un bac à piston coûte 500 à 600 fr., s'il produit 10 tonnes par jour, il faut un capital de 50 à 60 fr. par tonne produite chaque jour. Les appareils de M. Forey, en produisant 160 dans le même temps, la même proportion conduirait à un chiffre de 8,000 à 10,000 fr. Comme leur prix est inférieur, y compris les droits de brevets, la comparaison entre ces deux modes de lavage est encore en faveur du dernier.

Bien qu'à Commentry on lave ordinairement du charbon en fragments relativement gros, et destinés à la fabrication du coke de hauts-fourneaux, on a eu occasion de laver des charbons très-fins et très-impurs. Dans ce cas, l'efficacité du lavoir n'est pas moindre, seulement la production quotidienne de l'appareil descend à 120 tonnes environ. Le prix de revient est alors un peu plus élevé, mais ne dépasse pas 0^{f},15^{c} à 0^{f},17. y compris l'amortissement, ce qui est encore bien inférieur au prix du lavage dans les appareils ordinaires.

NOTE

SUR L'EMPLOI DES BOURROIRS EN BOIS

ET DES MÈCHES DE SURETÉ

POUR LE TIRAGE A LA POUDRE,

PAR MM. MUET ET GEYLER.

Dans son numéro de mai et juin 1864, la *Revue universelle* résume les opinions diverses qui se sont produites sur l'emploi des bourroirs en bois.

Suivant M. Imbert, directeur des houillères de Rives-de-Giers, le bourroir en bois, efficace dans les roches tendres, ne satisferait pas complétement au bourrage des coups de mines percés dans les roches dures ou tenaces.

M. Lombard, ingénieur des houillères de Montheaux, satisfait des bourroirs en bois, recommande aussi l'emploi des mèches de sûreté, excepté cependant dans les fonçages, où il préfère les canettes, parce que, dit-il, si, par accident, il arrive que les ouvriers ne puissent pas être enlevés assez rapidement pour être mis en sûreté, il leur est alors facile d'enlever la canette et d'arrêter l'explosion.

M. Évrard, ingénieur aux mines de Framont, admet l'usage du bourroir en bois dans toutes les roches, mais avec cette réserve que pour les roches dures, il fait terminer le bourrage à l'aide d'une tige métallique pour obtenir un serrage suffisant.

Enfin, M. Levy, directeur de la compagnie des houillères de la Moselle, préfère, dans tous les cas, les bourroirs en bois et les fusées de sûreté.

Nous partageons entièrement l'avis de ce dernier.

Depuis environ quinze années, nous faisons usage des bourroirs en bois, à l'exclusion de tous les autres, et partout aussi nous avons fait disparaître la canette pour la remplacer par la fusée de sûreté.

Voués plus particulièrement à l'exploitation des mines métalliques, nous avons eu à opérer le plus ordinairement sur des roches dures et tenaces, autrement difficiles à entamer que celles que l'on rencontre dans les exploitations houillères.

Dans les schistes cristallins des Alpes, dans les roches amphiboliques

des Pyrénées, dans les porphyres bleus et les granites du Beaujolais, etc., dont nous avons fait abattre des quantités assez considérables de mètres cubes avec le bourrage au bois, il nous a été permis de constater toujours les avantages bien réels qui résultent du bourrage par le bois, tant au point de vue de la sécurité qu'au point de vue de l'économie.

Notre conviction est si formellement arrêtée, à ce sujet, que notre premier soin, en arrivant sur un chantier où l'on fait usage des bourroirs métalliques, est de les faire immédiatement disparaître de la façon la plus radicale, en les faisant tous enlever et rompre pour les remplacer par le bois.

Sans doute, ces modifications trouvent partout une opiniâtre résistance, et il ne faut pas se laisser prendre par toutes les raisons qui ne manquent pas de se produire contre l'emploi des bourroirs en bois; mais on doit remarquer qu'elles sont partout les mêmes, et si l'on n'en tient pas compte, des fait indiscutables viennent à leur tour les appuyer. Ces faits sont concluants : *presque tous les coups* manquent leur effet, ils partent, *mais la roche ne casse pas; donc le bois ne serre pas suffisamment la charge.*

Un procédé bien simple doit alors être mis en usage pour rendre plus efficace le bourrage par le bois, nous avons dû l'employer souvent, toujours il réussit. Épurez le chantier de quelques mineurs les plus entêtés, et vous verrez rapidement le bourroir en bois fonctionner de mieux en mieux. En moins d'un mois, les plus récalcitrants arriveront à reconnaître eux-mêmes la sécurité qu'il apporte dans les tailles, et alors il serait probablement impossible de les faire revenir au bourroir en métal, dont l'abandon causait hier leurs regrets.

Jusqu'à ce jour, et nous le disons en faveur de notre opinion, il ne nous est arrivé AUCUN ACCIDENT par le bourrage.

Ajoutons encore que jamais la mèche n'est coupée par le bourroir en bois, tandis que souvent, au contraire, le bourroir en métal donne lieu à cet accident.

En faisant usage du bois pour le bourrage, nous nous servons également de la mèche de sûreté exclusivement à tous autres moyens de mise à feu dans les fonçages, les avancements ou les tailles d'exploitation; et pour répondre à l'inconvénient signalé par M. Lombard, nous indiquerons le procédé que nous mettons en application, lequel présente, pour les ouvriers, toutes les conditions de la plus complète sécurité.

Lorsque le coup est chargé et que la mèche a été coupée à 5 ou 6 centimètres au-dessus de l'orifice du trou, on la fend suivant son axe sur une longueur d'environ 3 centimètres, dans cette fente, qui produit une sorte de pincette, on introduit une petite languette d'amadou dont la longueur varie avec l'espace que doit franchir le mineur pour gagner son abri.

Dans un avancement, le mineur étant généralement seul et n'ayant qu'un seul coup à faire partir, avec toutes les facilités possibles pour fuir l'explosion, il suffit des précautions les plus usuelles.

Dans un fonçage, les conditions sont tout autres. La fuite dépend de la benne et un accident imprévu peut se produire. Mais ici, pour parer à cet imprévu, la lanière d'amadou doit être coupée, ainsi que la mèche, d'une longueur bien plus que suffisante, de sorte qu'en cas d'obstacle le mineur peut arracher l'amadou, ou d'un coup de pied la détacher de la mèche et par là arrêter l'explosion.

Enfin, dans les abatages en gradins, les morceaux d'amadou étant coupés de diverses longueurs, chaque mineur a le temps de se retirer lors de la mise à feu.

Les mineurs savent ou acquièrent bien rapidement l'habitude de juger de la longueur qu'il faut donner à ces mèches additionnelles pour gagner les abris et pour rendre facile le comptage des coups.

Néanmoins, comme il ne suffit pas d'avancer une opinion pour la faire admettre, nous devons citer des chiffres extraits à dessein des registres d'avancement de deux exploitations, pratiquées dans des roches aussi dures et aussi tenaces que possible, et où l'on n'a jamais fait usage que des bourroirs en bois.

Dans les porphyres bleus et compactes des environs de Beaujeu, nous faisons exécuter, sur des gites de plomb des travaux représentés aujourd'hui par une consommation de :

4,464 postes,
809 kil. de poudre,
7,140 mètres de mèches,
Ayant produit 13,392 coups de mine.

Dans les granites des environs de Saint-Laurent, de Chamousset, où nous faisons poursuivre des recherches sur un filon de plomb jadis exploité, nous avons aujourd'hui consommé :

673 postes,
218 kil. de poudre,
1,163 mètres de mèches,
Pour pratiquer et tirer 2,019 coups de mine.

En tout, pour ces deux exemples, 15,411 coups de mine, dont tous ont produit leur effet de rupture aussi bien que si le bourrage avait été exécuté avec du métal, et ce sans produire le moindre accident en opérant dans des roches éminemment scintillantes.

Dans une exploitation voisine de l'une de celles dont il vient d'être question, on employait, il y a peu de temps encore, rien que les bourroirs en métal et les accidents s'y succédaient d'une manière effrayante ; à force d'insister près de nos voisins qui, étrangers complétement à toutes ces questions, n'en comprenaient pas l'importance, nous avons réussi enfin à faire introduire chez eux l'usage du bourroir en bois ; depuis cette époque, les accidents par le tirage à la poudre ont disparu complétement.

Nous engageons donc vivement ceux qui ne sont pas encore aussi radi-

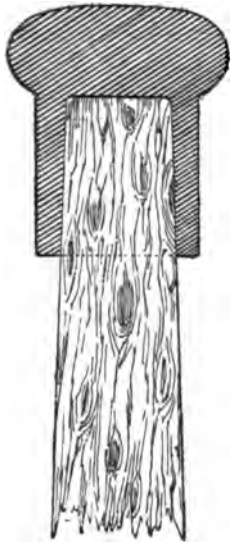
calement convaincus que nous le sommes nous-mêmes de l'efficacité des bourroirs en bois dans tous les cas, sans exceptions, à pousser la ténacité aussi loin que possible pour arriver à une conviction aussi nettement formulée que la nôtre.

Il y a là pour les ouvriers une question de sécurité assez grave pour mériter de la part des chefs une considération toute spéciale.

La routine leur créera de nombreux obstacles et fera valoir toutes espèces de raisons plus ou moins plausibles. Nous les invitons à ne rien croire sans avoir vu. Qu'ils fassent exécuter sous leurs yeux les bourrages déclarés les plus impossibles, et nous avons la conviction qu'ils seront bientôt de notre avis.

Si maintenant on envisage l'emploi du bourroir en bois au point de vue de l'économie, on voit que là, encore, il a l'avantage sur le métal.

Dans les pays montagneux où s'exploitent ordinairement les gites métallifères, le bois ne manque pas et ce sont les ouvriers qui se procurent à leurs frais les bourroirs dont ils font usage. En général, ils préfèrent, quand ils peuvent les avoir, des branches de houx dont ils se contentent d'enlever l'écorce et de polir le bois avec le couteau.

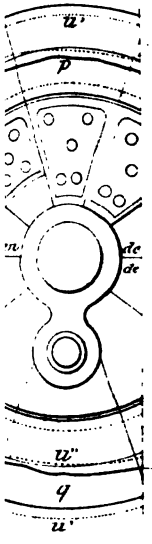


A défaut de houx, ils prennent le chêne ou le hêtre.

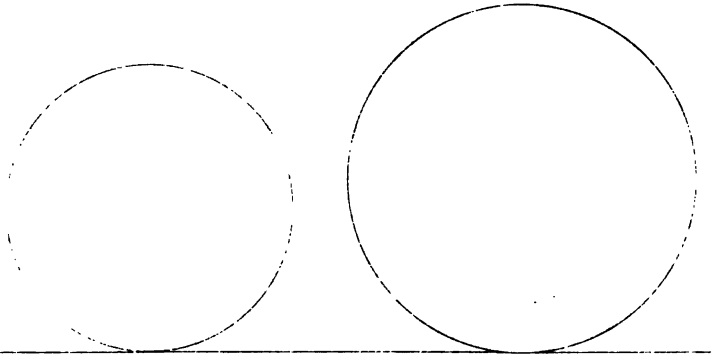
Dans les pays houillers où ce mode d'approvisionnement n'est pas possible, on peut se procurer facilement des bourroirs au prix de 0ᶠ,15 à 0ᶠ,20; leur durée est de plusieurs mois, et c'est toujours par la tête qu'ils périssent là où la massette vient les frapper. Mais pour les protéger contre ces chocs répétés, on peut les garnir d'une petite frette ou mieux d'un petit chapeau, comme l'indique la figure ci-contre. De cette façon, en même temps que les fibres du bois sont retenus, c'est sur le métal que vient frapper la massette, et leur durée se trouve ainsi notablement prolongée.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

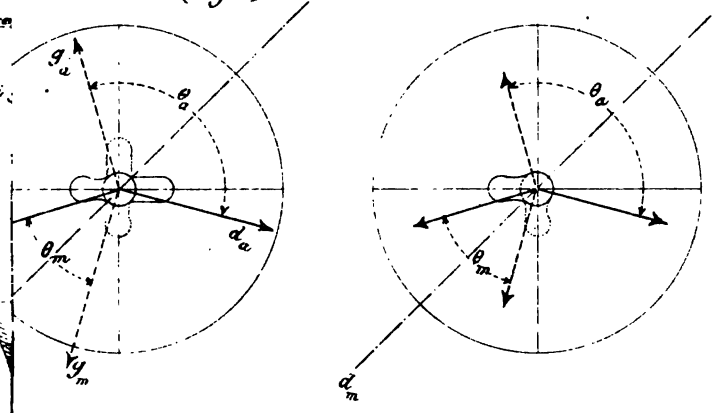
(Fig. 2.)



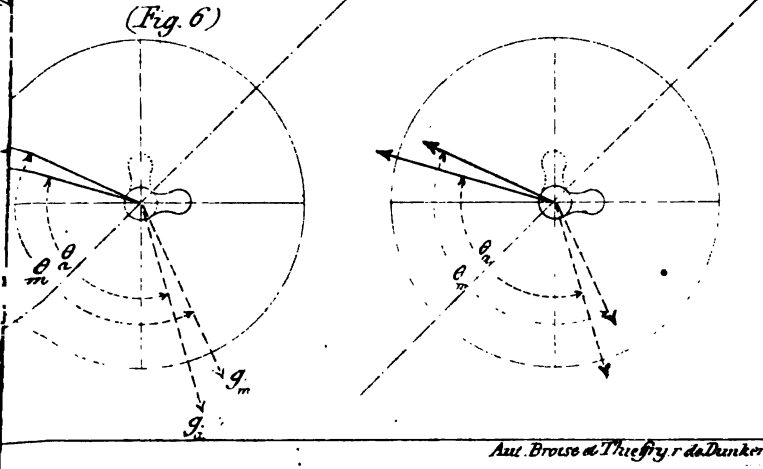
(Fig. 4.)



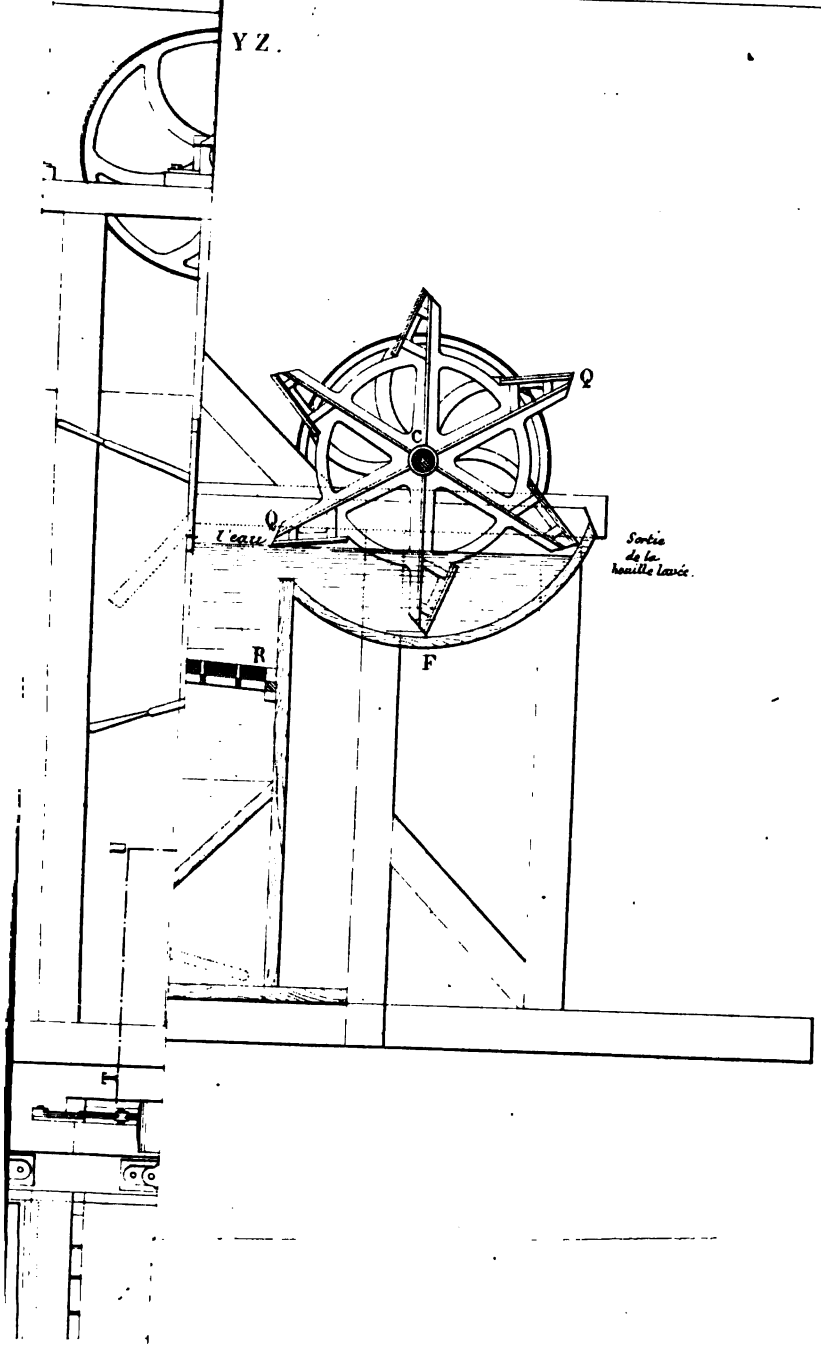
(Fig. 5)



(Fig. 6)



Aut. Broise et Thiefry r. de Dunkerque


Y Z.
Q
C
Q
l'eau
Sortie
de la
houille lavée.
R
F

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1864)

N° 28

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Isthme de Suez.* (Voir les résumés des séances des 7 et 21 octobre et 4 novembre, pages 411, 429 et 444.)

2° *Prix proposé*, par M. Perdonnet. (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 430.)

3° *Inflammabilité des bois.* (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 430.)

4° *Enseignement professionnel.* (Voir le résumé de la séance du 21 octobre, page 433.)

5° *Drague à vapeur pour terrassements à sec.* (Voir les résumés des séances des 4 et 18 novembre, pages 444 et 450.)

6° *Canal maritime de Dieppe à Paris.* (Voir le résumé de la séance du 4 novembre, page 443.)

7° *Bateaux transatlantiques*, par M. Gaudry. (Voir les résumés des séances des 18 novembre et 2 décembre, pages 451 et 458.)

8° *Traité de métallurgie*, par le docteur Percy. (Voir le résumé de la séance du 18 novembre, page 456.)

9° *Scories de forge* (utilisation des). (Voir le résumé de la séance du 2 décembre, page 461.)

10° *Niveau de poche*, permettant de vérifier le devers transversal qu'on doit donner aux voies en courbe, par M. Tardieu. (Voir le résumé de la séance du 2 décembre, page 463.)

11° *Ponts métalliques en treillis.* (Voir le résumé de la séance du 2 décembre, page 464.)

12° *Situation financière de la Société.* (Voir le résumé de la séance du 16 décembre, page 466.)

13° Élection des membres du bureau et du comité. (Voir le résumé de la séance du 16 décembre, page 467.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° Un exemplaire du tome I^er^, sixième partie des *Travaux de la commission française sur l'industrie des nations.*

2° De M. Koller, ingénieur, un exemplaire de sa brochure sur le *Chemin de fer du Saint-Gothard.*

3° De M. Rancès, membre de la Société, une note sur *Quelques essais de préparation dans le but de diminuer la combustibilité du bois.*

4° De M. Arnault, membre de la Société, une note sur *Divers appareils employés pour la distillation des eaux-de-vie.*

5° De M. Trélat, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur l'*École centrale d'architecture.*

6° Un exemplaire de l'*Album des machines, outils et appareils construits dans les ateliers de M. Frey fils.*

7° De M. Bélanger, J. B., membre honoraire de la Société, un exemplaire de son *Traité de cinématique*, et de son *Traité de dynamique d'un point matériel.*

8° De M. Badois, membre de la Société, un mémoire sur la *Drague à pivot pour terrassements à sec* de MM. Frey fils et A. Sayn.

9° De MM. Huet et Geyler, membres de la Société, une note sur l'*Emploi des bourroirs en bois et des mèches de sûreté pour le tirage à la poudre.* et un mémoire sur l'*Outillage nouveau et les modifications apportées dans les procédés d'enrichissement des minerais.*

10° De M. Bonnataire, membre de la Société, le *Programme du cours pratique de technologie agricole* qu'il professe à la ferme-école du Ménil-Saint-Firmin (Oise).

11° De la Société impériale et centrale d'agriculture, un exemplaire d'un *Programme d'un concours de deux prix de* 2,000 *fr. chaque :* 1° pour l'*analyse immédiate des bois ;* 2° pour l'*amélioration des vins.*

12° De M. Bonnet, membre de la Société, un exemplaire d'un mémoire *Sur les résultats pratiques du foyer fumivore, système Tenbrinck.*

13° De M. Ulysse Trélat, un exemplaire d'une *Étude critique sur la reconstruction de l'Hôtel-Dieu.*

14° De M. Pépin-Lehalleur, membre de la Société, un exemplaire du *Rapport du jury au concours international de Roanne sur le labourage à vapeur.*

15° De M. Lefrançois, membre de la Société, un travail intitulé : *Table des anses de panier à arcs égaux à* 3,5 *et* 7 *centres.*

16° De M. Benoit-Duportail, membre de la Société, un mémoire sur l'*Enseignement professionnel.*

17° De M. Alcan, membre de la Société, un exemplaire de son *Traité complet de la filature de coton.*

18° Un exemplaire du compte rendu des *Opérations pendant l'exercice* 1863, *des chemins de fer de l'État belge.*

19° De MM. Aristide Dumont et Louis Richard, deux exemplaires de deux *Rapports sur le canal maritime de Dieppe à Paris.*

20° Le numéro de janvier 1864 du bulletin de l'*Institution of Mechanical Engineers.*

21° Les numéros de juillet, août et septembre 1864 du bulletin de la *Société de géographie.*

22° Les numéros d'octobre, de novembre et décembre du journal *The Engineer.*

23° Les numéros d'octobre, de novembre et décembre des *Nouvelles annales de la construction.*

24° Les numéros d'octobre, de novembre et décembre du *Portefeuille économique de l'outillage.*

25° Les numéros d'octobre, novembre et décembre de l'*Album pratique.*

26° Les numéros d'octobre, de novembre et décembre du *Journal l'invention.*

27° Les numéros d'octobre, de novembre et décembre de la *Revue des Mondes*.

28° Les numéros de septembre, octobre et novembre des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées*.

29° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du *Génie industriel*.

30° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du bulletin de la *Presse scientifique des Deux-Mondes*.

31° Les numéros d'août, septembre, octobre et novembre du bulletin de la *Société d'Encouragement*.

32° Les numéros de septembre et octobre des *Annales télégraphiques*.

33° De M. Desbrière, membre de la Société, un exemplaire du *Bulletin* des 15 octobre, 15 novembre et 15 décembre *du comité des Forges*.

34° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, une Note bibliographique de la traduction faite par MM. Petitgand et Ronna, du *Traité complet de métallurgie* du docteur Percy.

35° De M. Nordling, ingénieur en chef du Réseau central, un exemplaire d'une *Note sur les moyens de prévenir les amoncellements de neige sur les chemins de fer*.

36° Les numéros de janvier, février et mars du *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*.

37° De M. Richoux, membre de la Société, un exemplaire de son *Étude sur les changements de voies*.

38° De MM. Noblet et Baudry, un exemplaire des 92 à 96e livraisons du *Portefeuille de John Cockerill*.

39° De M. Loisel, membre de la Société, une notice sur *un instrument dit perforateur de précision*.

40° De M. Alexis Barrault, membre de la Société, un exemplaire de son *Avant-projet relatif à l'Exposition universelle de* 1867.

41° De M. Simonin, un exemplaire d'une notice *sur l'île d'Elbe et ses mines de fer*.

42° De M. Jules Gaudry, membre de la Société, un mémoire *sur les bateaux transatlantiques*.

43° De M. Louis Lazare, un exemplaire de la 1re livraison de ses *publications administratives*.

44° Les numéros de mars, avril, mai et juin des *Annales des ponts et chaussées*.

45° De M. Couche, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de son *Rapport présenté à S. Ex. M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur le système proposé par M. Agudio pour remorquer les trains sur les chemins de fer à fortes rampes.*

46° De M. Laurent (Lambert), membre de la Société, une *Note relative aux travaux de terrassements du canal de Suez.*

47° De M. Ferdinand Mathieu, membre de la Société, deux lettres relatives à la *communication de M. Gaudry sur les bateaux transatlantiques.*

48° De M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, un exemplaire de la *statistique industrielle, publiée par la Chambre de commerce de Paris.*

49° Les numéros du journal *El Monitor cientifico-industrial di Barcelona.*

50° Les numéros de septembre et octobre de la *Revue universelle des Mines et de la Métallurgie.*

51° Les numéros d'octobre et de novembre du *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.*

Les Membres nouvellement admis comme sociétaires sont les suivants :

Au mois d'octobre :

MM. Courtin, présenté par MM. Geoffroy, Loustau et Nozo.
Euverte, présenté par MM. Flachat Ivan, Marié et Petiet.
Gosset, présenté par MM. Flachat, Ribail et Songaylo.
Lahure, présenté par MM. Étienne, Loustau et Petiet.
Lartigue, présenté par MM. Étienne, Loustau et Petiet.
Leloup, présenté par MM. Geyler, Huet et Poinsot.
Pelegry, présenté par MM. Delannoy, Fievet, et Love.
Picard, présenté par MM. Callon, Petiet et Thirion.
Robert (Jacques), présenté par MM. Delannoy, Desnos et Falies.
Rozycki, présenté, par MM. Flachat Eug., Flachat Adol. et Richoux.
Ruehlmann, présenté par MM. Dallot, Gerber et Richoux.

Comme Membres-Associés :

MM. Cordier, présenté par MM. Barberot, Jacquin et Petiet.
Even, présenté par MM. Laurent, Loustau et Tronquoy.
Le Président de la Compagnie du chemin de fer de l'Est, présenté par MM. Flachat, Petiet et Tresca.

MM. Le Pésident de la Compagnie du chemin de fer du Nord, présenté par MM. Flachat, Petiet et Tresca.
Le Président de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans, présenté par MM. Flachat, Petiet et Tresca.
Le Président de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, présenté par MM. Flachat, Petiet et Tresca.
Morizot, présenté par MM. Callon, Marin et Vée.

Au mois de novembre :

MM. Donzelle, présenté par MM. Callon, Donnay et Ser.
Lhomme, présenté par MM. Donnay, Hubert et Petiet.
Moysan, présenté par MM. Alquié, Callon et Jolly.

Au mois de décembre :

MM. Aivas, présenté par MM. Flachat, Nepveu et Petiet.
Borel, présenté par MM. Flachat, Petiet et Vuigner.
Brauer, présenté par MM. Degousée, Mesmer et Nozo.
Brustlein, présenté par MM. Petiet, Tresca et Valentin.
Cabany, présenté par MM. Loisel, Loustau et Petiet.
Maupeou (de), présenté par MM. Peligot, Petiet et Tronquoy.
Mouchelet (Bey), présenté par MM. Nepveu, Perdonnet et Petiet.
Robert (Gustave), présenté par MM. Desmousseaux de Givré. Loustau et Petiet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IVe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1864

Séance du 7 Octobre 1864.

Présidence de M. PETIET.

Messieurs,

Lorsque, il y a dix ans environ, M. de Lesseps préparait l'exécution du canal de Suez, combien de personnes, et j'étais du nombre, ont traité de chimérique la réalisation de ce projet. Il s'agissait d'exécuter dans un désert des terrassements d'un volume fabuleux; il s'agissait de créer un port dans la Méditerranée sur des plages peu hospitalières.

Mais ces difficultés d'exécution matérielles n'étaient pas les seules, il fallait avoir l'assentiment et le concours du vice-roi d'Égypte, répondre aux objections des gouvernements hostiles, et réunir les capitaux considérables pour l'exécution d'un aussi grand travail.

Aujourd'hui, messieurs, les incrédules ont disparu : les travaux sont installés sur une large échelle : un canal à petite section est ouvert et il amène l'eau douce depuis longtemps à de nombreux chantiers : le débarquement des machines et matériaux venant de l'Europe en Égypte pour ces travaux est organisé. L'achèvement du canal n'est plus douteux, c'est une simple question de temps.

Ce sont là d'immenses résultats déjà obtenus et l'honneur en revient pour la plus grosse part à M. de Lesseps. Nul n'oubliera, en effet, que c'est grâce à sa persévérance et à son énergie que la Compagnie a pu se constituer et résister aux obstacles de toutes sortes qu'elle a rencontrés.

Je suis heureux de l'occasion qui se présente d'exprimer au fondateur du cana toute la sympathie que j'éprouve pour l'œuvre grandiose qu'il réalise.

J'ai donc accueilli avec empressement la proposition de M. Eug. Flachat d'avoir à notre Société une conférence sur l'isthme de Suez. Il est clair que c'est la partie technique de l'œuvre dont nous nous occuperons seulement. Elle est assez engagée pour qu'il soit intéressant de connaître les procédés employés jusqu'ici, et il reste des

travaux assez considérables pour que MM. les ingénieurs se préoccupent des perfectionnements que l'on pourrait introduire encore.

Avant de donner la parole à M. Eug. Flachat, je prierai M. Brüll de vouloir bien faire une description sommaire du canal en exécution.

M. Brüll, sans avoir à communiquer à la Société rien qui ne soit déjà connu, cherchera, pour répondre à la demande que veut bien lui adresser M. le président, à rappeler en quelques mots le but matériel de l'entreprise, à décrire la configuration du pays, le tracé du canal et son profil en travers dans ses différentes parties, et enfin à donner quelques indications sur le partage des travaux entre les divers entrepreneurs. Ces explications, en rappelant à la mémoire les principales données de la question du percement de l'isthme, les noms des lieux traversés, permettront d'aborder avec plus de fruit l'intéressante étude que la Société va entreprendre.

Abréger de deux ou trois mille lieues la route commerciale entre l'Occident et l'Orient, éviter aux navires qui fréquentent les ports de l'Asie l'énorme détour du cap de Bonne-Espérance, tel est le but de la grande entreprise dont nous avons à nous occuper. Sans vouloir aborder ici aucune considération politique, il suffit de rappeler que la navigation de l'Europe et de l'Amérique avec la mer des Indes représente un tonnage de quatre à cinq millions de tonneaux, ce qui peut bien correspondre à quatre-vingts ou cent navires par jour.

L'isthme de Suez, dans sa partie la plus étroite entre Péluse sur la Méditerranée et Suez sur la mer Rouge, a environ 160 kilomètres de largeur.

La ligne qui réunit ces deux points est dirigée sensiblement du nord au sud sur le 30me méridien est, à la latitude moyenne de 31 degrés nord.

L'Égypte se compose de cette partie de la vallée du Nil qui s'étend depuis les cataractes jusqu'à la Méditerranée. Sur un parcours d'environ 200 lieues, le fleuve est l'axe d'une bande de terrain cultivé de deux ou trois lieues de large. Un peu en amont du Caire, on a construit un barrage à l'aide duquel on peut contenir les eaux du fleuve ou en régler l'écoulement. A partir du Caire, situé à peu près à 180 kilomètres de la Méditerranée, le Nil se divise en un grand nombre de branches naturelles ou canalisées dont les eaux arrosent tout le triangle qui a son sommet au Caire, et qui étend sa base sur la Méditerranée, d'Alexandrie à Port-Saïd, sur une longueur d'environ 200 kilomètres. A l'est et à l'ouest de ce Delta, renommé par sa fertilité, s'étendent d'immenses plaines de sable et de gravier. C'est le désert. Ces vastes solitudes, privées d'eau, nues de toute végétation, exposées sans abri au soleil torride, aux vents violents du sud, ne présentent aucune des conditions nécessaires à l'existence des êtres animés.

Un chemin de fer traversant le Delta par une ligne irrégulière réunit le Caire à Alexandrie, avec embranchement sur Zagazig, ville située près de la lisière orientale du triangle. Une autre ligne, de construction récente, va du Caire à Suez.

L'utilité et la possibilité de l'entreprise de la réunion des deux mers étant une fois admises, la première question qui se présentait, c'était le choix entre le percement direct de l'isthme dans sa plus petite largeur, et la construction d'un canal reliant Suez au Caire et établissant ainsi la communication à l'aide de l'une des branches du Nil. La commission internationale, qui a dressé l'avant-projet du canal, s'est arrêtée au premier moyen, tout en établissant par ses recherches que le tracé indirect avait déjà été réalisé plusieurs fois dans l'antiquité, tandis que le tracé direct ne paraissait pas avoir été tenté. C'est que le canal direct, constamment navigable, offre au commerce du monde des avantages que la réunion des deux mers par le Nil ne saurait

sidérable de niveau qui existerait entre la Méditerranée et la mer Rouge que l'on a pu donner la préférence au tracé indirect. Les nivellements plus soignés exécutés en 1847 par M. Bourdaloue, et en 1853 par M. Linant-Bey, donnent en moyenne une différence de 0m,86 seulement en faveur de la mer Rouge entre les niveaux d'équilibre des deux mers; et des opérations nouvelles ont réduit cette différence à 0,18, c'est-à-dire, à rien.

Le tracé direct fut donc adopté par la commission internationale; les débouchés du canal furent fixés à Suez et à Port-Saïd, un peu à l'ouest de Péluse.

L'isthme présente, suivant la ligne qui réunit ces deux points, une dépression nettement marquée qui forme l'intersection de deux plaines descendant par une pente insensible, l'une de l'Égypte et l'autre des premières collines de l'Asie. Tout ce terrain offre très-peu de relief, et il est à croire que les deux mers ont été autrefois beaucoup plus rapprochées en cet endroit, si même elles n'y ont mélangé leurs eaux.

Transversalement à la direction générale du canal et vers le milieu de sa longueur, un autre pli de terrain très-sensible se dessine entre Zagazig et le lac Timsah, situé à peu près à égale distance des deux rivages. C'est l'antique terre de Gessen dont la Bible nous rapporte la fertilité.

Le désert présentait une grande difficulté à l'organisation des travaux du canal. Pour y faire vivre des milliers d'ouvriers, il fallait y apporter toutes les choses nécessaires à l'existence, et avant tout de l'eau potable.

Mahemet-Ali, et après lui Abbas-pacha, avait établi à Zagazig, sur la branche du Nil appelée canal de Moes ou branche Tanitique, une dérivation dirigée vers l'est et allant par Abbassieh jusqu'à Ras-el-Ouadée (60 kilomètres environ). Le but de ce travail était de fertiliser un *ouadée* ou domaine qui fait saillie à cet endroit sur la lisière du Delta. Le domaine et le canal furent cédés à la Compagnie. Son premier soin fut de continuer la dérivation à partir de Ras-el-Ouadée, situé à l'extrême pointe du domaine jusqu'au lac Timsah.

L'eau douce étant ainsi amenée au centre même de l'isthme permettait de s'établir en ce point, et d'y fonder un centre d'organisation. C'est la ville d'Ismaïlia qui compte aujourd'hui quatre à cinq mille habitants. C'est là qu'est installée la direction générale des travaux; de ce point émanent tous les ordres; les magasins généraux, les installations nécessaires aux transports y sont concentrés.

Mais il fallait encore conduire l'eau douce le long des chantiers à organiser sur le canal maritime jusqu'à Suez d'un côté, jusqu'à Port-Saïd de l'autre. Pour cela, à deux ou trois kilomètres du lac Timsah, à Néfiche, on brancha sur le canal déjà creusé une dérivation qui, longeant à peu près le tracé du canal maritime, aboutit à Suez dans la mer Rouge après un parcours de 80 kilomètres.

Ces travaux du canal d'eau douce ont été dirigés par M. Cazeau, l'un de nos collègues, ingénieur de la Compagnie. Ils ont eu pour résultat immédiat une véritable transformation. La ville de Suez, qui doit son importance au transbordement dans son port de la malle des Indes, était gênée dans son développement par le manque d'eau. Chaque matin le chemin de fer du Caire amenait cette eau dans des wagons citernes pour la consommation de la journée. La quantité était insuffisante, l'approvisionnement incertain. L'hectolitre d'eau se vendait jusqu'à 1 fr. 50. Aujourd'hui l'eau arrive assez abondamment sur le rivage et la ville va se développant chaque jour.

Le canal d'eau douce a une section d'environ 8 mètres au plafond, 17 mètres à la ligne d'eau, 2m à 2m,25 de profondeur d'eau. Il a servi aussi au transport par bateaux

plats d'une partie du matériel destiné aux travaux. Ce matériel débarqué à Alexandrie était transporté à Zagazig par le chemin de fer, et pouvait ainsi parvenir jusqu'au lac Timsah.

De la sorte on peut approvisionner Port-Saïd, Suez et Ismaïlia, soit les deux extrémités et le milieu de la longueur du canal maritime.

Mais la prise d'eau de Zagazig, qui alimente le canal d'eau douce, est sujette aux crues et aux baisses de la branche du Nil sur laquelle elle est placée; de plus elle est faite à un niveau très-bas qui n'assure pas dans la longueur du canal un tirant d'eau suffisant. Pour améliorer ces conditions encore précaires d'un service aussi important pour le succès de l'entreprise, on a décidé de faire une nouvelle dérivation du Nil en amont du grand barrage du Caire, à un niveau bien plus élevé que celle de Zagazig, et de conduire l'eau jusqu'à Abbassieh dans le canal déjà creusé, le long de la lisière orientale du Delta. D'après des arrangements récents, ce travail sera exécuté par le vice-roi, qui se réservera par compensation le bénéfice des irrigations que ce canal rendra possibles. Cette branche aura environ 75 kilomètres de développement.

Quant à la partie nord du tracé du canal maritime d'Ismaïlia à Port-Saïd, elle ne pouvait être alimentée d'eau par un canal découvert. Les lagunes du lac *Menzaleh* qu'il faudrait traverser sur la plus grande partie du parcours, présentaient un obstacle à ce travail. On se décida donc à élever l'eau par des machines à vapeur dans un réservoir, en tôle, de 500 mètres cubes, installé sur les hauteurs voisines d'Ismaïlia, et à l'envoyer dans un conduit fermé jusqu'à Port-Saïd. Cette conduite, de 16 centimètres de diamètre, de 80 kilomètres de longueur, posée par M. Lasseron, entrepreneur, membre de notre société, alimente sur son parcours plusieurs réservoirs métalliques où s'emmagasinent les provisions d'eau nécessaires aux chantiers, et vient aboutir à Port-Saïd.

Tels sont les travaux préalables que l'on a exécutés pour amener l'eau douce sur les divers points des travaux.

Décrivons maintenant le tracé du canal maritime suivant la dépression qui se dessine entre Port-Saïd et Suez.

De Peluse à Damiette, sur une longueur de 80 kilomètres, s'étendent des lagunes dont la largeur moyenne est d'environ 40 kilomètres, et qui se nomment lacs Menzaleh. Elles sont séparées de la mer par une étroite bande de sable coupée en plusieurs endroits, mais cependant formant une enceinte assez continue pour que le niveau de la Méditerranée ne s'établisse pas complétement dans le lac. La profondeur d'eau y est moyennement d'environ 1 mètre. Quelques îlots émergent de place en place. En dehors de la bande de terre qui enceint ces lacs, la plage descend par une pente très faible, et il faut s'avancer jusqu'à 3,500 mètres pour trouver un fond de 10 mètres.

La ville de Port-Saïd, peuplée aujourd'hui de plus de 3,000 habitants, a été fondée en un point de l'étroite langue de terre qui ferme le lac. Toutes les constructions sont bâties sur pilotis. On a commencé par enfoncer à 1,400 mètres en avant de la plage, une enceinte de pieux à vis dans laquelle on a échoué des blocs de pierres et des déblais, de façon à former en mer un îlot où pussent aborder les navires chargés de matériel. On a ensuite relié cet îlot à la côte par un môle de 1,500 mètres environ de longueur. On a projeté d'établir, suivant la direction nord nord-est, deux jetées parallèles, comprenant entre elles le chenal d'accès du canal maritime. La jetée ouest, qui sera la continuation du môle déjà construit, aura 3,300 mètres de longueur. Elle protégera l'entrée du canal contre les vents de l'ouest qui règnent le plus généralement sur cette côte. La jetée est sera plus courte et n'aura que 2,000 mètres.

Un bassin carré de 800 mètres de côté sera établi à l'entrée du lac Menzaleh pour servir de port d'abri aux navires.

La traversée du lac Menzaleh, longue d'environ 32 kilomètres, a été commencée. Deux rigoles parallèles de petite section ont été creusées et les déblais rejetés en berges à l'est pour la rigole de l'est, et à l'ouest pour la rigole de l'ouest. La nature vaseuse et sans consistance du terrain a présenté d'assez grandes difficultés. Le produit des draguages n'a pu être fixé qu'à l'aide de palplanches et de fascines. On a cependant réussi à obtenir des berges d'une solidité suffisante pour transporter des terrassements ou pour y asseoir les remblais sans en produire l'éboulement.

Le lac Menzaleh communique, par un passage sinueux, avec un petit lac nommé le lac Ballah. Le tracé, tout en s'infléchissant aussi à cet endroit, traverse cependant une langue de terre ferme de 18 kilomètres, dont la surface est en moyenne à 9 mètres au dessus du plafond du canal. La traversée du lac Ballah a une longueur de 13 kilomètres.

C'est entre le lac Ballah et le lac Timsah, situé comme nous l'avons dit, à peu près au centre de l'isthme, que le tracé rencontre la plus grande élévation de terrain. Le seuil d'El-Guisr, long de 18 kilomètres, présente une altitude maxima de 18 à 19 mètres au-dessus du niveau de la Méditerranée.

Le seuil d'El-Guisr a été déjà entamé par une tranchée à section réduite, creusée par les contingents de fellahs, de sorte qu'en définitive, une rigole maritime continue amène l'eau de la Méditerranée dans le lac Timsah qui était à sec.

Cette rigole est destinée à porter les bateaux plats de faibles tirants d'eau qu servent au transport et à la répartition du matériel sur les chantiers.

Le lac Timsah a peu d'étendue et le fond n'en est que peu inférieur au niveau de la Méditerranée. Le canal le traverse sur 8 kilomètres de longueur. On veut faire de ce lac un port intérieur pour le ravitaillement et la réparation des navires.

Un second plateau, moins élevé que le premier, se rencontre au Sud du lac Timsah, c'est le seuil du Serapéum qui s'élève à 14 mètres au maximum au-dessus du niveau de la mer. La longueur de ce parcours est de 13 kilomètres.

Les lacs Amers, dont le fond est, en certains points, plus bas que la côte du plafond du canal, sont traversés, par le projet, sur une longueur de 35 kilomètres et présentent, transversalement au tracé, une longueur de 7 à 8 kilomètres.

Entre l'extrémité Sud de ces lacs et la rade de Suez, le terrain est à des hauteurs variant de 1 à 11 mètres au-dessus du plan d'eau. La longueur de cette traversée est de 20 kilomètres.

Enfin, un chenal de cinq kilomètres de longueur, qui va en s'élargissant vers la pleine mer, sera dragué dans la rade à l'embouchure du canal, de façon à en placer l'entrée sur un fond de 8 mètres.

On voit qu'en résumé le canal maritime aura une longueur d'environ 162 kilomètres; présentera deux tranchées importantes sur 31 kilomètres, traversera les lacs Menzaleh, le lac Ballah, le lac Timsah et les lacs Amers, ce dernier ne présentant que fort peu de travail de creusement, et débouchera dans l'une et l'autre mer par un chenal assez long pour trouver les grands fonds.

La largeur au plan d'eau, fixée dans l'avant-projet, était de 100 mètres au sud des lacs Amers, et 80 mètres dans la partie du canal située au-dessus de ces lacs; mais la compagnie a jugé convenable de réduire à 80 mètres la première côte et à 58 mètres la seconde, soit la largeur du canal sur la plus grande partie de son parcours.

Le profil en travers varie naturellement aux divers points suivant l'altitude des

terrains traversés. Mais voici les bases générales adoptées pour l'établir. Le plafond qui, dans l'avant-projet de la commission internationale, était fixé à 44 mètres n'aura que 22 mètres de large, les talus sont inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur; le plafond est établi à 8 mètres au-dessous du niveau moyen de la Méditerranée, dont les marées varient de 20 à 40 centimètres. A un mètre au-dessous de ce niveau, une banquette de 2 mètres, destinée à revevoir des éboulements supérieurs est ménagée de chaque côté. Puis les talus reprennent la pente de deux pour un jusqu'au sol naturel lorsqu'il est au-dessus de la mer. Un chemin de halage de 4 mètres est réservé en avant du cavalier de dépôt dont l'inclinaison maxima est fixée à deux de base pour un de hauteur. Il ne sera fait qu'un seul cavalier afin de conserver la faculté d'élargir le canal.

Dans la traversée du lac Menzaleh et en général dans les parties où le sol naturel est au-dessous de la mer, les déblais serviront à constituer deux levées présentant une plate-forme d'au moins 4 mètres de largeur.

Quant aux lacs Amers, on ne sait pas encore si l'on établira une digue du côté du vent, ou si l'on enfermera le chenal entre deux digues, ou même si on ne contournera pas les bords du lac.

Aux embouchures du canal à Port-Saïd et à Suez, le chenal et le bassin seront approfondis à la drague. Il en est de même de l'élargissement au profit définitif de la rigole maritime qui traverse le lac Menzaleh et le lac Ballah, et de la traversée des lagunes de Suez. Les travaux ont été confiés, en mars dernier, à M. William Ayton, entrepreneur anglais qui a exécuté une grande partie des draguages de la Clyde. La compagnie remet à M. Ayton son matériel de dragues. Le cube total des draguages prévu au marché, est de 28,800,000 mètres cubes.

Les jetées de Port-Saïd seront construites avec des blocs de béton. Le haut prix de la pierre, l'abondance du sable qui sera extrait par millions de mètres cubes et la facilité de transporter en tout lieu les meilleures chaux hydrauliques semblaient, en effet, indiquer l'emploi du béton pour ce travail. Les 250,000 mètres cubes, qui seront nécessaires d'après les devis pour compléter les deux jetées, seront fabriqués et mis en place par MM. Dussaud frères, qui ont acquis une excellente renommée dans les travaux considérables de la même nature qu'ils ont exécutés dans les ports de Marseille, Cherbourg et Alger.

M. Couvreux, ancien entrepreneur du chemin de fer des Ardennes, a soumissionné en octobre 1863 le creusement de la tranchée de 15 kilomètres qui traverse le seuil d'El-Guisr, entre le lac Ballah et le lac Timsah. Le cube de déblais prévu est de 9,000,000 de mètres cubes. C'est avec des excavateurs à sec que M. Couvreux a commencé l'exécution de son lot; ces appareils versent les déblais dans des wagons que des locomotives élèvent jusque sur la plateforme du cavalier.

Enfin, les deux lots restant compris entre le lac Timsah et les lacs Amers et entre l'extrémité sud de ces derniers lacs et le chenal de Suez ont été entrepris par MM. Borrel et Lavalley. Ils représentent un cube prévu de 24,500,000 mètres cubes dont une partie doit être déblayée à sec, et dont l'autre sera enlevée à la drague. M. Lavalley, membre de notre Société, se propose d'appliquer à ce travail une idée fort ingénieuse que lui a suggérée l'examen attentif des lieux. Dans la pensée que le draguage lui reviendra moins cher au mètre cube que le déblai à sec, il désirait commencer le travail à la drague au niveau le plus élevé possible. Or, le canal d'eau douce, qui circule à proximité du canal maritime à ouvrir, est à un niveau supérieur de 6 à 7 mètres à l'eau de la mer Rouge. Il suffira donc d'envoyer, par quelques saignées convenable-

ment percées, l'eau de ce canal dans les chantiers déjà attaqués à une profondeur suffisante pour pouvoir y installer des dragues, et même pour pouvoir conduire les déblais dans des bateaux à clapets, et les déposer dans les lacs artificiels que fourniront ainsi toutes les dépressions du terrain.

Telle est actuellement la situation de l'entreprise du canal de Suez au point de vue de la distribution des travaux entre les différents entrepreneurs, et des modes généraux d'exécution qu'ils se proposent d'appliquer.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Brüll des renseignements qu'il vient de donner à la Société, et prie M. Flachat de donner lecture de sa communication.

L'intérêt que le percement de l'isthme de Suez avait inspiré s'est puissamment accru dans cette dernière année. Au moment où le succès des premiers efforts démontrait qu'il était praticable et qu'il s'accomplirait dans une période de temps limitée, une lutte s'est élevée, en apparence sur le terrain politique de l'entreprise, en réalité sur ses moyens d'exécution. En France où cette œuvre est devenue nationale, personne ne s'est trompé sur la pensée à l'instigation de laquelle un nouvel obstacle a surgi et sur son origine. L'attente a été longue et pénible, et c'est avec une vive satisfaction que l'issue du différend a été reçue, car non-seulement elle annonçait la solution de difficultés qui n'auraient jamais dû naître si la politique de l'Europe continentale avait seule prévalu, mais elle annonçait aussi que l'éminent fondateur de cette grande entreprise avait envisagé le résultat possible de la lutte et tout préparé d'avance pour la transformation de ses moyens d'exécution.

Il nous a semblé que le moment était bien choisi pour vous entretenir de nouveau de l'œuvre pour laquelle vous avez, en diverses occasions, manifesté de vives sympathies et dont plusieurs membres de cette société se sont directement occupés.

Pour rendre l'exposé de la situation actuelle plus intelligible, passons brièvement en revue les phases successives de l'œuvre.

PREMIÈRE PÉRIODE. — INSTALLATION DES TRAVAUX.

La part de la main-d'œuvre dans le creusement d'un canal, dans la construction de jetées en mer, de digues et de quais est toujours considérable quelle que soit celle des machines dans la fouille, l'enlèvement et le transport des terres et des matériaux. Il fallait donc compter, dès l'origine, sur l'emploi d'hommes par milliers. Mais le désert était un obstacle à la naturalisation de la main-d'œuvre des ouvriers de l'Occident. Il fallait ou transformer le désert, ou employer aux travaux la population locale habituée au climat.

La transformation du désert exigeait du temps, et l'œuvre ne pouvait pas attendre. Elle eût succombé avant de naître, au premier indice d'hésitation.

Il n'existait pas, en Égypte, de travail libre. Le travail appartient au pacha; il le vendit à la Compagnie. Mais ce n'était encore là qu'une expérience : il fallait la convertir en un moyen pratique. Autre chose est, en effet, d'employer les fellahs aux travaux agricoles isolément et dans les localités cultivées et peuplées, et de les employer par groupes de plusieurs milliers dans le désert.

L'histoire raconte que l'érection de certains édifices, d'une utilité douteuse d'ailleurs, entreprise dans de pareilles circonstances, a causé une mortalité telle qu'elle a pris le rang d'une peste, d'une épidémie ou d'une famine effroyable, dans les fléaux qui ont affligé l'humanité.

Tout récemment encore, la construction du chemin de fer du Panama, celle des

chemins indiens et celle du chemin de fer du Caire à Suez, avaient montré que les deux nations qui nous précèdent par l'importance et la variété de leurs travaux publics, exposaient les travailleurs indigènes à une cruelle mortalité.

Les adversaires de l'isthme de Suez s'attendaient aux mêmes résultats; l'Angleterre en avait fait l'expérience sur les mêmes lieux. Ils étaient prêts à protester au nom de l'humanité. Mais cette occasion ne s'est pas produite. Grâces en soient rendues à l'illustre fondateur et à ceux qui l'ont assisté.

Rappelons-nous, messieurs, que nos inquiétudes, à nous-mêmes, étaient vives à cet égard et qu'elles ont été exprimées ici.

Quelle que soit la cause qui a créé le désert, elle n'est pas faible, car elle a chassé l'homme devant elle. Une fois le désert créé, il devient redoutable. Le manque d'eau, de sol cultivable, la chaleur solaire sans ombre, et la fraîcheur des nuits sans abri, les tempêtes de sable que le vent roule avec lui, sont autant d'obstacles à la colonisation des ouvriers. Force était donc de tout apporter au désert : eau, vivres, abri, tout enfin.

Si les agglomérations d'ouvriers, dans les conditions ordinaires et dans nos propres climats, amènent fréquemment des affections typhoïdes, des fièvres, etc., à quoi devait-on s'attendre dans le désert si les conditions hygiéniques étaient négligées? La difficulté était grande, mais elle a été abordée de front et sans hésitation.

La Compagnie a réalisé toutes les conditions d'une colonisation artificielle d'ouvriers en apportant, sur les ateliers, tout ce qui était nécessaire à l'existence : l'abri, aux soins hygiéniques; elle y a ajouté un système de migrations mensuelles des contingents, et elle a si bien réussi que la mortalité a été, sur ses chantiers, moindre que dans les autres parties de l'Égypte, moindre que dans nos établissements militaires. Le succès a été si complet qu'il vint à la pensée de plusieurs membres du jury de l'Exposition universelle de 1862 de proposer qu'une grande médaille fût donnée à la Compagnie de l'isthme de Suez pour signaler la grandeur et l'importance du résultat obtenu. Le président du jury adopta cette pensée avec empressement. Mais nous étions en Angleterre : les souvenirs des travaux dans l'Inde et du Caire à Suez étaient trop récents; le contraste trop palpable. On prétexta que la Compagnie de l'isthme de Suez n'était pas exposante.

Cependant cette colonisation artificielle était trop onéreuse pour être considérée autrement que comme un moyen provisoire. Il fallait rendre la colonisation naturelle pour qu'elle devînt définitive et que la main-d'œuvre fût enfin placée dans les seules conditions où elle peut s'exercer avec économie. Ce fut, dès l'origine, la préoccupation du fondateur. Le canal d'eau douce était possible; il en fit la base principale des moyens d'exécution du canal maritime. En amenant l'eau douce, il chassait à son tour, le désert devant lui. Il consolidait les vastes établissements d'Ismaïla et de Port-Saïd qui sont des villes de plusieurs milliers d'habitants; il rendait la marche de ses travaux facile et régulière.

Si la main-d'œuvre est en réalité le pivot de la grande roue du travail, il est aussi vrai qu'elle ne s'obtient, dans ses meilleures conditions, que lorsque l'ouvrier peut trouver, à côté de l'atelier, les moyens et les habitudes qui permettent la vie de famille. Or, cela est obtenu désormais et cela est à l'éternel honneur de l'auteur de l'entreprise, car ce résultat est, à lui seul, une victoire dans la lutte contre une nature redoutable et contre des adversaires acharnés.

Vous entrevoyez déjà les conséquences. De ce que les conditions de colonisation ont changé, le caractère et la nature de la main-d'œuvre peuvent changer aussi. A

place du fellah, l'Européen peut venir et, avec lui, le Grec de l'Asie, le Maltais, l'Italien; et ils viennent déjà; le niveau intellectuel de la main-d'œuvre peut se relever, une nouvelle ère se prépare; il ne faut plus à l'œuvre qu'un peu de temps pour cette transformation.

Mais, devant ce résultat, les ennemis de l'isthme s'agitent. Nous sommes en 1863. A ce moment encore, il restait des adversaires à combattre et des indifférents à convaincre; la politique anglaise affectait de continuer de croire à l'impossibilité matérielle de l'œuvre. M. de Lesseps comprit l'utilité de lui répondre par la bouche très-autorisée de l'ingénieur président de la Société des ingénieurs civils de Londres, sœur aînée de celle-ci. Sur sa proposition, M. Hawkshaw fut consulté par le vice-roi. Il y a toujours profit, autant que loyauté, à aller au-devant des objections, quelque intéressées qu'elles soient.

Il résulte, en effet, du rapport de cet ingénieur, que le canal est possible, qu'il est bien tracé, qu'aucune difficulté d'art ne peut être aperçue à son exécution, que les ports sont bien projetés, que l'installation des travaux ne laisse pas de place aux objections, qu'enfin le canal d'eau douce a atteint le but que l'on se proposait, celui de transformer le désert.

Cela, nous le savions, et le rapport n'a rien appris à ceux d'entre nous qui ont suivi cette entreprise avec le degré d'intérêt qu'elle mérite; mais il importait qu'autour des tapis diplomatiques de Londres et de Constantinople, ces vérités ne pussent être contestées plus longtemps.

L'entreprise semblait donc devoir désormais marcher à pleines voiles vers le succès. Quelques chiffres sont utiles pour indiquer ce qui restait à faire.

Le creusement du canal estimé d'abord, pour une largeur de 100 mètres au plan d'eau, à 96,000,000 de mètres cubes, a été réduit à 74,000,000 de mètres, la largeur au plan d'eau étant ramenée à 80 mètres entre la mer Rouge et les lacs Amers, et à 58 mètres entre les lacs Amers et Port-Saïd. Sur ces 74,000,000 de mètres, il en reste à exécuter 55,200,000, ce qui donne environ 18,800,000 mètres exécutés jusqu'à ce jour. Les ingénieurs de la Compagnie comptaient exécuter les 55,200,000 restant à faire, en trois années, si les contingents des fellahs avaient pu être conservés, en moyenne, à 30,000 hommes. Réglant la durée des travaux sur le cube des déblais à sec, la Compagnie estimait (mars 1863) que ce cube serait au maximum de 40,000,000 de mètres et que, à raison de 1m,33 par homme et par jour, des contingents de 20,000 hommes les exécuteraient en quatre ans environ, mais qu'en portant les contingents à 30,000 hommes, le travail serait aisément terminé en trois ans.

Ces chiffres suffisent pour mesurer l'importance de la lutte engagée sur la suppression de la corvée.

SECONDE PÉRIODE. — Difficultés politiques.

La politique anglaise avait toujours cru ou semblé croire à l'impossibilité de l'œuvre. Le rapport de l'ingénieur anglais lui ouvrit les yeux. Elle avait entravé l'entreprise bien plutôt parce qu'elle voyait dans le vaste ensemble de la concession faite à M. de Lesseps, l'origine d'un grand établissement français en Égypte, que l'établissement d'un moyen de communication mort-né, suivant elle.

Mais le jour où elle est forcée de reconnaître son erreur, elle change ses batteries et s'attaque aux moyens d'exécution. La main-d'œuvre est tout entière basée sur l'emploi du fellah; l'enlever à la Compagnie, ce sera entraîner sa ruine.

Il est remarquable que l'Angleterre ait toujours su mettre au service de sa politique un grand principe de moralité. Elle a poursuivi l'abolition de la traite des noirs, mais sur la mer seulement, parce que les marines étrangères se recrutaient de matelots par ce trafic. Elle a fermé les yeux sur le trafic des esclaves à l'intérieur de l'Afrique, sur les massacres qui en sont la conséquence, sur l'effrayante mortalité des caravanes d'esclaves dans le désert, sur l'établissement de marchés d'esclaves sur le littoral de la Méditerranée, en présence de ses consuls ; et il est remarquable que c'est la nation sur laquelle l'influence de l'Angleterre est la plus puissante qui conserve encore l'esclavage. Mais, en ces lieux, sa politique n'a pas de profit à retirer de l'abolition de l'esclavage.

La corvée égyptienne, le travail du fellah, n'avait jamais éveillé les scrupules de l'Angleterre. Bien plus, elle l'avait demandée à son profit. Elle l'avait exclusivement employée dans les travaux du chemin de fer du Caire à Suez, et dans des conditions de mortalité qui restent attachées à cette entreprise comme une marque ineffaçable.

Mais le jour où elle a reconnu que ce système de travail porcerait l'Isthme de Suez si on n'y mettait ordre, elle s'est avisée que c'était une sorte d'esclavage déguisé. Elle a ouvert les yeux au gouvernement turc, et, sous cette main puissante, celui-ci a supprimé la corvée.

Personne, sans doute, n'a été dupe de cette comédie humanitaire. Mais si le fond était faux, la forme était habile; elle a triomphé de la religion du contrat.

Un autre point également inquiétant pour l'Angleterre était celui qui attribuait à la Compagnie la propriété d'un territoire que devaient fertiliser les eaux douces amenées par elle. Il y avait là le fondement bien légitime et bien pacifique d'un vaste foyer français. Les principes de neutralité ont été invoqués et avec succès par la jalouse diplomatie de l'Angleterre.

Sur cet intérêt, comme sur le précédent, les négociations ont amené des compensations. Un arbitre auguste a prononcé. L'intérêt de la France dans l'Isthme de Suez c'est qu'il soit ouvert. C'est à cet intérêt qu'il faut savoir sacrifier tout ce qui peut être un prétexte à de nouvelles luttes, à des appels aux principes de liberté civile, et de neutralité. Quelque fallacieuse que soit l'attaque, il faut lui ôter tout prétexte. C'est ce qui a été fait. L'avenir dira si les compensations accordées à la Compagnie pour la suppression du travail des fellahs et pour l'abandon des propriétés cultivables sont suffisantes[1]. En attendant, les plans des adversaires de l'entreprise sont

1. Devis de la Commission internationale adopté par M. Hawkshaw. (Rapport, février 1856)

Déblais à sec..... ..m.c.	46,000,000 à 0f,67	30,820,000f
— sous l'eau.....	50,177,926 à 1f,00	50,177,926
	96,177,926 à 0f,84c,4	80,997,926
A déduire par suite de la réduction de la section du canal.....	25,000,000	20,200,000
	71,000,000	59,800,000
Déblais opérés.....	15,800,000 à 0f,78	12,500,000
Reste.....	55,200,000	47,300,000
La transaction ajoute aux ressources financières de la Compagnie...		33,000,000
Total des moyens.....		80,300,000

croissement des ressources financières que la transaction assure à la Compagnie.

TROISIÈME PÉRIODE. — Régime définitif de l'exécution des travaux.

Nous entrons enfin dans la période où les progrès récents de l'art de l'ingénieur sont plus exclusivement appelés à la solution du vaste problème de l'exécution des travaux. Mais, il ne faut pas l'oublier, dans ces nouveaux procédés d'exécution, comme dans les plus simples emplois des bras, le point de vue de la main-d'œuvre, c'est-à-dire de la colonisation ouvrière est encore dominant, et justifie plus que jamais les efforts faits pour la faciliter. Car, à mesure que le concours de l'ouvrier étranger, et surtout de l'ouvrier de l'Occident devient plus nécessaire, plus de précautions sont à prendre pour l'attirer et pour le conserver.

Nous commencerons donc l'examen des questions spéciales, qui doivent le plus intéresser notre attention, par nous rendre compte de ce que sera, dans l'application des procédés mécaniques, l'importance de la main-d'œuvre sur place.

De la comparaison du travail accompli avec ce qui reste à faire, il résulte que du moment où l'établissement du canal d'eau douce permet la naturalisation stable des populations ouvrières le long du canal maritime et à ses deux extrémités, l'heure et l'intérêt sont venus de substituer, d'une manière plus générale, l'emploi des moyens mécaniques à l'exécution des travaux. Ces moyens sont aujourd'hui variés, et leur puissance est, en présence d'aussi vastes ateliers que ceux de l'Isthme de Suez, bien plutôt proportionnelle au nombre d'hommes qu'il est permis d'amener sur les chantiers, qu'à toute autre condition. C'est ce qui va ressortir des rapprochements qui vont suivre.

Que le creusement du canal se fasse à sec et avec des excavateurs, et que les chemins de fer, les wagons et les locomotives soient employés au transport des déblais: ou bien que le creusement soit opéré par des dragues et les déblais chargés sur bateaux et transportés au moyen du touage, puis déchargés par des clapets de fond, dans les lacs naturels ou artificiels; ou bien encore, que les déblais dragués soient déchargés sur des wagons pour être transportés par des chemins de fer, toujours est-il que, quelque réduit que soit le nombre d'ouvriers proportionnellement à la quantité de travail opéré, il sera néanmoins considérable, en raison de l'importance des travaux et de l'intérêt d'en abréger l'exécution. Enfin, plus la part des machines sera forte, plus la main-d'œuvre doit être intelligente et habile, et plus alors on entre

Ce qui permet un prix moyen de 1f,46c.

La Compagnie a traité avec M. Couvreux à	1f,70	15,300,000f	106,975,000
Avec MM. Lavallée et Borel, à.....	1f,95	18,135,000	
Id. id.....	2f,45	37,240,000	
Avec M. Ayton.....	1f,65[1]	36,300,000	
La perte actuelle qui résulte de la sentence arbitrale en ce qui concerne le prix des terrassements est de.....			26,675,000f

1. Ce chiffre de 1f,65, correspond à 1f,35 de rémunération argent, et à 0f,30 de concours prêté par la Compagnie, en fournissant pour deux millions environ de matériel.

dans la catégorie d'ouvriers auxquels des conditions de bien-être sont relativement plus nécessaires. Sous ce rapport, bien loin d'avoir à regretter les efforts faits pour rendre le séjour et l'existence de l'ouvrier facile, saine et économique, il y a lieu de persévérer dans cette voie.

55,200,000 mètres cubes restent à enlever dans le canal. 250,000^{m3} de blocs artificiels sont à disposer en jetées à Port-Saïd. Les entrepreneurs se sont engagés à exécuter ces travaux dans l'espace de quatre années. C'est 13,800,000^{m3} à déblayer par an. Pour se faire l'idée de l'importance de ce travail, rappelons-nous que le chemin de fer le plus accidenté, comporte un mouvement de terre d'environ 75,000^{m3} par kilomètre, et que le creusement du canal équivaudra, chaque année, aux travaux de terrassement de 184 kilomètres de chemin de fer. Ces travaux se feront dans des conditions toutes spéciales à cause de la grande accumulation de travail qui résulte de la dimension des tranchées.

Cherchons dans ces chiffres la mesure de la main-d'œuvre. La réduction du nombre d'ouvriers qui résulte de l'emploi des machines est sans doute considérable, mais pas cependant autant que l'on pourrait le supposer au premier coup d'œil. Dans les ateliers de terrassement où le matériel des chemins de fer est employé, et où la fouille et la charge sont faites à la pioche et à la pelle, la journée de l'ouvrier correspond, dans les terrains meubles, à trois mètres cubes environ. Mais ce nombre est réduit de beaucoup par l'emploi des dragues, quand les déblais chargés sur bateaux peuvent être déchargés directement par les clapets de fond. Dans ce cas, la journée de l'ouvrier correspond à un déblai de 10 mètres cubes. On peut admettre qu'en prenant cinq mètres cubes en moyenne, par ouvrier, on ne s'écarte pas beaucoup de la vérité; car, quel que soit l'intérêt considérable qui portera les entrepreneurs à substituer autant que possible, au déblai à sec, le déblai par la drague, le transport par eau et la décharge des déblais par les clapets de fond dans les lacs naturels ou dans les lacs artificiels, toujours est-il que ce dernier moyen sera, encore longtemps, l'exception dans les ateliers du centre. Dans ces conditions, il faut s'attendre à l'emploi de 9 à 10,000 hommes environ : et, si un quart vient en famille, une population de 12 à 15,000 âmes devra rester attachée aux travaux de percement de l'Isthme. Il n'y a sans doute là rien de difficile et d'imprévu. La tâche à accomplir est, de beaucoup, plus exempte d'éventualités que celle qui a été remplie; mais enfin il n'était pas possible de négliger, dans une discussion technique, ce premier élément dont les conséquences ne doivent échapper à personne.

Dans l'espace de quatre années, ces 10,000 ouvriers recevront un salaire de 60 millions au moins. Leur épargne et l'envoi d'argent à la famille sera de moitié environ; l'autre moitié représente le chiffre des besoins locaux, auxquels il faut que les entrepreneurs subviennent directement en grande partie, pour que l'ouvrier ne soit pas, pour son abri, sa subsistance et son entretien, victime des parasites par lesquels il se laisse si facilement dépouiller.

Nous venons d'être témoin, dans les montagnes du Guadarrama et des Pyrénées, de deux agglomérations semblables d'ouvriers. Le chiffre en a varié, pour chacune, entre 8 et 15,000 hommes, sur des ateliers représentant, en étendue totale, celle des ateliers de l'Isthme de Suez (120 kilomètres environ).

Dans le Guadarrama, l'âpreté de l'été et de l'hiver, l'absence d'eau salubre et de logements, ont exigé des dépenses d'installation que la division par petites entreprises a rendues insuffisantes. La Compagnie du nord de l'Espagne a dû organiser, elle-même, un service et des soins sanitaires, et néanmoins les fièvres ont plusieurs fois

dissous les ateliers. Dans l'espace de trois années, bien que les ouvriers vinssent de grandes distances, du Piémont, de la Galice et des Asturies, de la Navarre, des provinces basques, de la Castille et de la Manche, l'abandon de l'atelier était provoqué par la moindre circonstance; peu d'hommes pouvaient rester plusieurs mois loin de leur famille; ils retournaient au pays, et on évaluait à sept fois la moyenne, c'est-à-dire à 70 ou 80,000 hommes le nombre d'ouvriers qui, pendant les trois années qu'ont duré les travaux, avaient été employés dans la montagne. Malgré cette affluence et ce renouvellement, le prix de la main-d'œuvre s'y est élevé au-dessus de ce qu'elle est payée en France dans de semblables ateliers.

Dans les Pyrénées, pour conserver un noyau de 10 à 11,000 ouvriers, les recrutements successifs ont constaté un mouvement sextuple, dans l'espace de deux ans, et une hausse considérable dans le prix des salaires habituellement payés en France.

Dans les deux exemples que nous citons, le nombre des ouvriers français était excessivement restreint; ils n'ont pu être retenus que là où le voisinage des villes ou des villages leur procurait des conditions de logement, de nourriture et d'entretien à peu près analogues à ce qu'ils trouvaient chez eux.

Une pareille mobilité dans la population ouvrière n'est pas possible à l'Isthme de Suez : elle existait pour les contingents; elle était même plus considérable. La moyenne de la durée du séjour du fellah sur les chantiers était d'un mois. C'est cette mobilité qui a été la base du succès de l'organisation du service sanitaire. Un mois de séjour au désert et de travail suffisait pour épuiser la force des ouvriers les plus faibles, et le contingent était alors renvoyé dans ses foyers; il était remplacé par un autre, jusqu'au moment où le repos permettait de le ramener au désert.

Mais, dès qu'il s'agit d'ouvriers étrangers, la distance est trop grande, les frais de déplacement trop considérables. L'ouvrier des pays d'Occident, dont l'emploi des machines exigera forcément le concours, ne se décidera à s'expatrier qu'autant qu'il sera séduit par un prix élevé, et retenu par des conditions de bien-être conciliables avec l'acquisition d'une épargne.

L'une des plaies des grands ateliers de ce genre est dans l'exploitation du salaire de l'ouvrier par ses nourrisseurs, logeurs, etc., qui, à l'aide de crédits d'abord faciles, enlaçent l'ouvrier et le placent dans leur dépendance. Les 15 millions qui seront distribués annuellement en salaires à l'Isthme de Suez, attireront bon nombre de ces parasites, si les entrepreneurs de la Compagnie n'y mettent pas ordre en offrant l'abri, la nourriture et l'entretien à l'ouvrier à des conditions qui serviront de modérateur aux industriels de la localité.

Ces considérations démontrent que le plus précieux des intérêts de la Compagnie est aujourd'hui, comme le premier jour, dans le développement des conditions qui peuvent assurer une colonisation stable.

Nous n'avons qu'effleuré dans ces lignes les questions qui se rattachent à la main-d'œuvre, dans les conditions où elle va se produire à l'Isthme de Suez. Le succès de l'avenir est ici, sans doute, assuré; la bataille est gagnée, mais il s'agit de bien profiter de la victoire.

Les questions d'emploi des machines dans le percement de l'Isthme de Suez présentent, par la variété des applications, le programme d'étude le plus intéressant qui se soit produit dans l'histoire des travaux publics.

Il est impossible d'assister à d'aussi grands efforts, à la recherche d'aussi utiles solutions, sans se sentir entraîné à leur apporter le concours de sa sympathie et de sa réflexion.

C'est le sentiment que nous éprouverons tous ici. Les questions sont nouvelles : non pas que les moyens connus ne suffiraient pas à l'œuvre, mais ils ne suffiraient pas au temps, et ils ne procureraient pas le maximum d'économie désirable.

Dans l'ordre des méthodes, lentes et dispendieuses, d'exécuter les travaux de ce genre, se présente, naturellement, celle à l'aide de laquelle les canaux ont été exécutés, sans exception, jusqu'à ce jour; la fouille, la charge, le transport et le dépôt des terres au moyen de la pioche, de la pelle, de la brouette, du panier, etc. Cette méthode est ici nécessairement exclue. Elle disparaît avec la corvée qui livrait la main-d'œuvre à un prix relativement faible.

Vient ensuite, pour les déblais à sec, l'emploi des chemins de fer et de leur matériel roulant; ce procédé est expéditif et très-économique quant aux transports; mais comme il ne change rien à la fouille et à la charge, et qu'il complique même la décharge plus que le procédé ordinaire, il exige une proportion de main-d'œuvre qui est d'un ouvrier pour 3^{m3} environ. C'est donc un procédé dispendieux si le prix de la main-d'œuvre est élevé; cependant c'est aujourd'hui le seul pratiqué pour les déblais à sec. Il peut être, dans certaines circonstances, amélioré quant à la fouille et à la charge, par l'emploi des excavateurs.

L'emploi de l'excavateur n'a été retardé, jusqu'à ce jour, que par le désir des inventeurs de faire servir le même outil à toutes les natures de terrains. L'observation la plus vulgaire aurait dû les éclairer à cet égard : c'est l'extrême diversité des charrues inventées pour les diverses natures du sol à labourer. Pour un emploi aussi important que celui dont il s'agit ici, où le sol à excaver semble offrir peu de variétés, peut-être l'excavateur est-il appelé à une application qui réduirait la main-d'œuvre de fouille. Mais la durée des travaux n'y gagnera qu'à une condition, c'est la rapidité de charge des wagons. Ce que l'emploi du matériel des chemins de fer aux terrassement a de particulier, c'est que toute la longueur d'un train se transforme en atelier de fouille et de charge. L'excavateur doit donc, pour répondre aux espérances qu'il fait naître, remplir les wagons successivement et avec autant de rapidité que le ferait la charge à bras d'hommes simultanée.

La question change, en ce qui concerne les déblais sous l'eau au moyen de la drague. Tant que les terrains ne présentent pas un degré de consistance qui résiste à la drague, et tant que les déblais peuvent être reçus et transportés dans des bateaux à clapets de fond par lesquels ils sont déchargés, ce procédé prend une supériorité très-évidente sur le précédent, sous le triple rapport de la rapidité, de l'économie et de la simplicité du moyen. Le touage appliqué, dans ce cas, à la remorque des bateaux à clapet, ajoute une nouvelle valeur à ce procédé.

Malheureusement l'application ne peut être aussi étendue que le ferait croire le nombre et la superficie des lacs qui séparent les divers seuils à ouvrir pour le passage du canal maritime. Ces lacs manquent de profondeur; il faut donc déposer sur berges les déblais dragués, et là se présente, par suite de la grande section du canal, de la faible inclinaison de ses berges et de la hauteur des cavaliers de dépôt, un ordre de questions dignes d'un grand intérêt. Faut-il compléter la drague par un train de wagons recevant les déblais pour les élever sur les berges et les cavaliers, ou bien associer la drague, soit avec le drop, soit avec les grues mobiles? Faut-il, au contraire, lorsqu'on aura le choix, reculer devant la complication d'un tel système, et préférer le déblai à sec, avec l'emploi exclusif du matériel des chemins de fer? Telle est la plus grave des questions posées.

Deux circonstances, cependant, viennent jeter sur cette question un jour inattendu.

Le sol des lacs Amers est à 10 mètres en contre-bas du niveau de la mer, de sorte que l'adduction des eaux de celle-ci permettrait le jet facile par les clapets de fond, des déblais chargés, dans les bateaux, par les dragues.

D'une autre part, le sol est, sur certains points des seuils à traverser, à un niveau inférieur à celui des eaux du canal fluviatile, et cela a inspiré aux entrepreneurs l'idée aussi ingénieuse par sa simplicité que rationnelle, de créer, par le déversement des eaux du Nil dans les dépressions que rencontre le tracé du canal maritime, des lacs artificiels dont la profondeur permettra la décharge, par les clapets de fond, des déblais dragués. Si cette idée est réalisable elle apporte une solution partielle très-satisfaisante.

Dans la traversée des lacs sans profondeur suffisante, tel que les 61 kilomètres des lacs Menzaleh et Ballah, les procédés connus font défaut. Les dragues déblaieront la section du canal avec une grande facilité, mais le jet sur berge devient difficile, d'une part, à cause de l'inclinaison des talus, et, d'autre part, à cause de l'importance du dépôt à opérer.

Nous n'avons pas parlé d'un procédé qui est aujourd'hui employé sur la plus grande échelle, dans les travaux des mines, pour la recherche de l'or; procédé dont M. Duponchel, ingénieur des ponts et chaussées, a signalé l'utilité pour répandre sur les Landes, les énormes amas de déjections boueuses qui ont couvert le plan septentrional de la chaîne des Pyrénées. Ce procédé consiste à délayer les terres meubles par des injections à courant d'eau forcée et à les faire transporter, par un courant d'eau rapide, au moyen de canaux de dérivation à grande pente.

L'Isthme de Suez dispose, sous ce rapport, d'une force motrice résultant de l'écoulement de douze cent millions, au moins, de mètres cubes d'eau à déverser dans les lacs Amers pour les amener au niveau de la Méditerranée.

Cette pensée d'utiliser le courant résultant de la différence de niveau, à transporter les parties argileuses du déblai de fond, rendues mobiles par des charrues touées dans le canal, de manière à n'y laisser à relever par les dragues que les sables lourds que le courant ne pourrait entraîner; cette pensée, disons-nous, paraît d'autant plus rationnelle que, sur certains points du canal, la proportion d'argile que contiennent les sables, gêne singulièrement le travail de la drague, les godets se vidant difficilement.

Nous terminons ces aperçus généraux et sommaires par l'indication d'un programme qui pourrait servir de guide à notre discussion.

Rechercher les appareils et les modes d'exécution les plus économiques pour l'achèvement, dans une période de quarante mois, des travaux du canal de Suez, soit d'un canal de 8 mètres de profondeur au-dessous de la ligne d'eau, 22m,00 de largeur au plafond, et 58m à la surface, tels qu'ils résultent des conditions spécifiées ci-après :

1° Sur les premiers 61 kilomètres à partir de Port-Saïd, le canal traverse des lacs dans lesquels le déblai doit se faire tout entier à la drague, et dont la profondeur est insuffisante à l'emploi des porteurs à clapets. Le volume de terre à remuer est par mètre courant d'environ 300m³.

2° Entre le 61e kilomètre et le 75e (entrée dans le lac Timsah), le canal franchit le seuil d'El-Guisr, avec des cotes de déblai, au-dessus de l'eau, qui atteignent jusqu'à 19 mètres.

Le cube des déblais à opérer au-dessus du niveau de la mer est d'environ 4,300,000m³. Celui des déblais au-dessous est d'environ 4,700,000. Le lac Timsah

offre des bas-fonds dans lesquels les déblais pourront être déposés ; mais ce lac ne présente aujourd'hui que quelques flaques d'eau.

3° Entre l'issue du lac Timsah et le bassin des lacs Amers, soit entre les kilomètres 84 et 98, le problème est le même qu'entre le 64e kilomètre et le lac Timsah. Le cube à déblayer au-dessus du niveau de la mer est là de 4,000,000 ; celui au-dessous de la mer est de 4,500,000. Mais, d'une part, à la faveur du lac Timsah et des lacs Amers, également vides aujourd'hui, le déblai à sec peut être poussé notablement au-dessous du niveau de la Méditerranée ; d'autre part, à la faveur du canal d'eau douce (branche de Suez), qui longe cette partie à une distance d'environ 2 kilomètres, on peut réaliser un plan d'eau supérieur à celui de la Méditerranée, d'environ 6 mètres.

4° Entre le bassin des lacs Amers et Suez, sur une longueur de 25 kilomètres environ, le déblai à exécuter au-dessus du niveau de la Méditerranée est de 3,000,000m (le niveau moyen de la Méditerranée n'est que de 0m,18, inférieur à celui de la mer Rouge). On rencontre sur cette partie un seuil de 6 kilomètres, environ, de longueur (Chafou et Terrabâ) qui a été déblayé, à bras d'hommes, jusqu'à 3m. au-dessus du niveau de la mer. On peut donc considérer sur ces 6 kilomètres le terrain comme horizontal à 3m,00 au-dessus de l'eau. Dans le reste du parcours, soit sur 19 kilomètres, cette cote n'est que 2m,00 environ et s'abaisse vers les extrémités, jusqu'à 0. Le déblai au-dessous du niveau de la mer, est, dans cette partie, tout entier à faire, il représente environ 8,000,000 de mètres cubes.

La mer Rouge comporte immédiatement l'emploi des bateaux porteurs, mais sur les lacs Amers, qu'il faudrait, au préalable, remplir.

Les terrains entre Port-Saïd et les lacs Amers doivent être considérés comme d'un déblai éminemment facile. Entre les lacs Amers et Suez, ils sont argileux.

M. le Président prie M. Sciama, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur en chef des travaux du canal de Suez, invité à assister à la séance, de vouloir bien donner à la Société quelques indications sur les moyens proposés, essayés ou déjà employés pour effectuer ces difficiles travaux et sur les résultats déjà constatés ou prévus dans l'application de ces moyens.

M. Sciama expose qu'en dehors des moyens ordinaires de terrassement usuels employés sur tous les chantiers, le premier appareil mécanique mis en usage par la Compagnie a été la drague. C'étaient d'abord des dragues d'un petit modèle, devant extraire, par journée de travail, environ 400 mètres cubes de déblai. On conçoit que pour ouvrir des tranchées à petite section et de faible profondeur, alors qu'on n'a qu'un cube réduit à enlever à chaque endroit, il est nécessaire d'avoir recours à des appareils de petites dimensions. En effet, le tirant d'eau disponible est alors trop faible non-seulement pour porter des bateaux dragueurs puissants, mais même pour porter les embarcations à l'aide desquelles on transporte les grappins d'amarrage de ces bateaux. Plus le dragueur est fort, et plus sont lourds les grappins et les accessoires nécessaires pour les amarrer; ces pièces atteignent souvent le poids de 800 kilogrammes.

Mais les petites dragues cessent d'être avantageuses lorsqu'il s'agit d'ouvrir le canal à sa section définitive. Aussi, la compagnie s'est-elle assurée la possession de vingt dragues des plus puissantes, dont dix ont été construites par les forges et chantiers de la Méditerranée, et dix par la maison E. Gouin et Ce. Ces puissants appareils, faits pour draguer 1,000 à 1,200 mètres cubes par jour, sont aujourd'hui rendus à Port-Saïd, et quelques-uns sont déjà montés et à l'essai. Tout fait espérer que l'on pourra tirer de ces machines de très-utiles services.

Mais la question du draguage proprement dit n'est pas la plus difficile; à part quelques parties du terrain où l'argile compacte oblige à remplacer les godets de la chaîne par des couteaux qui découpent la masse en briquettes, à part quelques endroits où les godets se vident mal et où l'on doit employer des outils spéciaux pour en enlever les déblais; les dragues fonctionnent généralement à peu près bien et livrent au haut de leur élinde un certain cube plus ou moins voisin de leur rendement nominal.

C'est l'enlèvement des déblais fournis par les godets de la drague qui présente les plus sérieuses difficultés. Aux points où le terrain naturel est bas, et où par suite la largeur de la rigole à petite section qu'il s'agissait d'ouvrir était très-faible, il était facile de rejeter directement les déblais en berge. La drague était pourvue à la façon ordinaire d'un couloir suffisamment incliné pour l'écoulement des terres ameublies et délayées dans une forte proportion d'eau. Ces couloirs soutenus en porte-à-faux sur la drague ont été successivement allongés jusqu'à 15 et même 18 mètres de portée. Mais on ne put aller au delà, et dans les cas où cette distance était insuffisante pour atteindre le couronnement du cavalier, il fallut imaginer d'autres moyens.

Les toiles sans fin furent le premier des engins auxquels on eut recours. Elles n'ont pas besoin d'une pente aussi considérable que les couloirs, et leur portée peut en être plus grande. On essaya d'abord l'emploi d'une toile proprement dite, mais l'usure du tissu ne permit pas de poursuivre ces essais. On tenta de lui substituer des assemblages de bandes métalliques articulées; mais il se présenta des difficultés inattendues. La toile sans fin forma des poches entre les supports, et le déblai constamment tamisé par les vibrations de l'appareil et retombant du haut des plans inclinés que ces poches lui présentaient, ne parvenait pas à l'extrémité où devait se faire le déversement. La toile progressait mais n'entraînait pas la terre. Souvent aussi celle-ci prenait sur la toile une adhérence telle qu'au point extrême de la toile le déversement n'avait pas lieu, et la terre retombait dans le canal par dessous la toile sans fin.

Ces essais très-variés n'ont pas, quant à présent, fourni de résultats utilisables.

Nous avons aussi employé un moyen qui, au premier examen, ne paraît pas avantageux, et dont nous avons pu cependant tirer quelque parti. Nous avons employé deux dragues parallèles dont la seconde relevait les déblais versés par la première à l'extrémité de son couloir, et les transportait à 15 ou 18 mètres plus loin. Nous avons pu ainsi franchir des distances assez considérables, et les terres ameublies par la première extraction remplissaient bien les godets de la seconde drague, dont le rendement était assez avantageux. Mais on conçoit qu'on ne pouvait généraliser l'emploi de ce moyen.

En dehors des systèmes dans lesquels les déblais sont transportés horizontalement à une certaine distance par un appareil faisant partie de la drague, se présente naturellement le système de l'enlèvement par des grues. Nous avons employé successivement les grues flottantes et les grues roulant sur la berge.

Les grues flottantes, c'est-à-dire installées sur des bateaux amarrés à côté du bateau dragueur, enlevaient des caisses chargées de déblais et par rotation transportaient ces caisses au-dessus de la plate-forme de la berge à fermer, où elles étaient vidées par l'ouverture d'un clapet inférieur. Mais ces grues étaient sujettes à des mouvements d'une trop grande amplitude, soit au moment où elles prenaient charge de la caisse, soit au moment où la caisse se vidait, et cette instabilité qu'on n'aurait pu combattre que par une exagération des dimensions, fit renoncer à l'emploi des grues flottantes.

Quant aux grues roulantes, leur poids considérable, le peu de consistance des berges rendirent très-difficile le maintien en bon état des voies de roulement. Il était d'ailleurs difficile d'arriver à faire concorder convenablement le service des dragues des bateaux et des grues qui devaient fonctionner simultanément.

Le moyen auquel se sont arrêtés, quant à présent, nos entrepreneurs consiste à verser le déblai des dragues dans des bateaux à clapets et à transporter ceux-ci à l'aide de remorqueurs soit au large, soit dans les lacs naturels ou artificiels dont le tirant d'eau est suffisant pour la navigation et la décharge par les clapets. Ce moyen ne réalise pas la condition qu'on s'était proposée dès l'abord, de réduire à leur minimum les transports horizontaux.

Enfin, il faut aussi signaler la conception tout à fait grandiose mise en avant, il y a quelque temps, par une puissante maison anglaise. Un bateau dragueur de 20 mètres de large portant quatre ou cinq élindes supporterait à une certaine hauteur au-dessus de son pont, sur de solides colonnes, une immense poutre armée qui, moyennant l'écartement considérable de ces points d'appui extrêmes, pourrait présenter de part et d'autre de la drague un porte à faux considérable et suffisant pour atteindre le sommet des cavaliers; les déblais venus par les chaînes à godets, à un niveau supérieur à la poutre tomberaient sur des wagonnets roulant sur celle-ci, et seraient transportés jusqu'au-dessus du cavalier.

La drague travaillerait alors en se déplaçant transversalement, ce mode de travail en sabot différerait notablement du système de papillonnage que nous avons employé jusqu'à présent.

La drague est en effet amarrée par quatre câbles partant de ses quatre angles; en tirant à l'aide des treuils sur deux des câbles opposés, d'angle en angle et mollissant les deux autres câbles, on fait tourner la drague autour de son centre. Lorsque la passe est finie en largeur, on hâle la drague sur un cordage amarré au loin et destiné à donner l'avancement. Ce mode de papillonnage n'a pas été, que nous sachions, employé dans les travaux de draguages du port de Toulon, ni dans ceux de la Spezzia. Il nous a donné de bons résultats.

On emploie aussi au canal de Suez un mode de travail différent du draguage. M. Couvreux a commencé l'exécution de la tranchée d'El-Guisr avec des excavateurs ou dragues à sec, dans lesquels les godets travaillent sous l'élinde et se déversent en arrivant au sommet de celle-ci par un système fort intelligent de clapet à charnière. Les déblais sont versés dans des wagons qui circulent sur des voies inclinées. Ce système de travail paraît réussir quant à présent. Il est seulement à craindre que les mécanismes ne se conservent pas longtemps, à cause du sable sec qui vient user les surfaces de frottement de la machine, les essieux et les coussinets des wagons.

M. Ferdinand de Lesseps, invité à assister à la séance, adresse à la Société et à M. Flachat ses remercîments pour la bienveillance avec laquelle on a bien voulu s'occuper de l'entreprise du canal de Suez. Il ne doute pas que les travaux de la Société ne viennent apporter un très-utile concours à la Compagnie dont il a l'honneur d'être le Président. Il exprime à la Société sa reconnaissance pour l'attention qu'elle a bien voulu prêter à l'exposé des travaux du canal.

M. Flachat demande à M. Sciama s'il veut bien donner à la Société quelques renseignements complémentaires sur la nature des terrains traversés par le tracé du canal, principalement du côté de Suez.

M. Sciama répond que le sable plus ou moins fin, le galet, le sable aggloméré forment la masse du terrain à déblayer pour la construction du canal maritime. Mais

on rencontre aussi des argiles plus ou moins compactes, des marnes argileuses et des calcaires carbonatés et sulfatés d'une dureté assez grande. Les sondages exécutés le long du tracé ne permettent pas encore de fixer avec certitude la proportion des cubes de ces divers terrains que l'on aura à extraire. Des grès durs ont été trouvés près de Suez sur une longueur de 3 kilomètres 5 environ. Ils seront extraits soit à la poudre sous l'eau, soit à sec, au moyen de batardeaux.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Sciama quelques indications sur le mode d'emplissage des lacs Amers. L'introduction de l'eau dans ces lacs ne donne-t-elle pas de certaines facilités pour l'exécution des travaux.

M. SCIAMA rappelle que le fond des lacs Amers est à plus de 10 mètres, en moyenne, au-dessous du niveau de la mer Rouge et qu'il y a là, en raison du cube d'eau considérable qui pourra entrer dans ce lac, une énorme quantité de travail mécanique disponible. Mais il faut tenir compte aussi du mode de travail adopté par les entrepreneurs et des convenances que la Compagnie doit ménager dans l'emploi d'un moyen aussi énergique et dont les conséquences sont si difficiles à prévoir et à régler.

M. FLACHAT pense que le parti à tirer de la force motrice, résultant de l'écoulement des eaux de la mer dans les lacs Amers pour les remplir, est une des questions les plus intéressantes à examiner.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Flachat de l'intéressant travail qu'il a présenté à la Société, et exprime à M. Sciama la reconnaissance de la Société pour les renseignements qu'il a bien voulu lui fournir sur les importants travaux du canal.

Si d'une part la conversation a eu pour résultat de faire ressortir quelques-unes des difficultés de l'œuvre, elle a montré aussi que l'on était organisé pour les surmonter dans des délais raisonnables. Nous aurons à revenir ultérieurement sur ces questions si intéressantes.

Mais avant de nous séparer, je désire exprimer à l'éminent fondateur du canal de Suez tous les vœux que nous formons pour la prompte réussite de ce grand travail, et le remercier cordialement d'avoir accepté mon invitation.

Séance du 21 Octobre 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. GAGET demande à rectifier, dans le procès-verbal de la séance précédente, quelques-uns des chiffres cités par M. Flachat, dans la note qu'il a lue sur les travaux du canal de Suez.

M. FLACHAT fait remarquer que les chiffres indiqués dans sa note ont été pris sur les rapports présentés aux actionnaires par la Société elle-même, et qu'à ce titre il doit les considérer comme exacts.

M. LE PRÉSIDENT pense qu'il sera temps de faire des rectifications, s'il y a lieu, à une des prochaines séances, lorsque la discussion sera reprise.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société que M. Perdonnet vient d'être promu au grade

de commandeur dans l'ordre de la Légion d'honneur. — M. Flachat (Eugène) a été nommé grand officier de l'ordre de Charles III, et M. Moreaux chevalier de l'ordre du lion Néerlandais.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la lettre suivante qu'il a reçue de M. Perdonnet :

« Depuis bien des années, je me propose de faire des expériences, dans le but d'éclaircir quelques points obscurs de la théorie des résistances sur le chemin de fer et de la force développée par les locomotives. Le temps m'a toujours fait défaut pour réaliser ce projet. Trop vieux maintenant, j'y renonce. Je lègue cet héritage à de plus jeunes, et pour les encourager à l'accepter, je viens offrir à la Société des ingénieurs civils un prix de *deux mille francs*, représenté par une médaille d'or à l'effigie de Georges Stephenson et de Séguin aîné; qui serait décerné par une commission choisie dans le sein de la Société, à l'auteur des expériences faites dans le délai de deux années, expériences qui répondraient le mieux aux questions d'un programme que j'aurai l'honneur de soumettre à l'approbation de la Société, avec prière de le modifier et de le compléter, comme elle le jugerait à propos.

« Je donne en cela un exemple qui, je l'espère, sera suivi par d'autres, et ne pourra que contribuer à la propagation des idées de progrès que la Société représente.

« Je tiens essentiellement, Monsieur le Président, à ce que cette communication soit faite par vous qui représentez si bien l'industrie des chemins de fer dans ce qu'elle a de plus avancé. »

« Agréez, etc. »

Le comité sera saisi du programme annoncé par M. Perdonnet, il sera ensuite communiqué à la Société.

La Société vote, par acclamation, des remercîments à M. Perdonnet.

L'ordre du jour appelle la communication de la note de M. Rancès, sur quelques essais et préparations dans le but de diminuer la combustibilité des bois.

M. FLACHAT demande à présenter d'abord quelques observations.

Les expériences faites par M. Rancès ont été provoquées par MM. Lechatelier et Flachat. L'inflammabilité des bois employés dans les constructions intérieures des navires, et particulièrement dans ceux à vapeur est une cause de dangers. Le feu prenant en général dans des espaces fermés, la fumée qui se dégage de suite, remplit ces espaces, empêche d'y pénétrer et de reconnaître le foyer de l'incendie; on se trouve dans l'impossibilité d'apporter des secours efficaces. Si les bois étaient rendus incombustibles ou tout au moins ininflammables, cette cause de dangers disparaîtrait à peu près complétement. On comprend dès lors tout l'intérêt qui s'attache aux essais de préparation entrepris par MM. Lechatelier et Flachat.

C'est généralement le sapin qu'on emploie pour faire les charpentes intérieures des navires; il est, en général, dépouillé de son aubier; or, on sait que dans ces conditions le sapin est réfractaire à toute pénétration. Il faut pour préparer quelques millimètres d'épaisseur des pressions de onze ou douze atmosphères. On pouvait prévoir qu'une préparation aussi superficielle produisît bien peu d'effet, néanmoins comme on disposait d'un appareil Legé et Fleury-Pironnet, permettant d'obtenir facilement les fortes pressions nécessaires, il a paru intéressant à ces messieurs de tenter quelques essais.

Le premier point à examiner était la détermination des matières à employer.

bilité des bois préparés à l'aide de ces sels est due à la proportion de cendres qu'ils ajoutent. On a en effet reconnu que les bois enduits ou pénétrés de sels terreux donnent une quantité de cendres beaucoup plus considérable que celle résultant du tissu même du bois.

Le sel marin est à très-bas prix; mais il paraissait devoir être écarté, à cause de ses propriétés diliquescentes qui auraient l'inconvénient de détruire les peintures; mais on parvient facilement à les purger des sels de magnésie qui lui donnent ces propriétés, et dans ces conditions il est tout à fait sans inconvénient; il lui reste l'avantage du bon marché, il a donc été choisi.

Restait à déterminer le titre de la dissolution. Les liqueurs employées dans la préparation du bois par le sulfate de cuivre contiennent au maximum 2 kilogr. de sulfate solide par hectolitre d'eau, une liqueur titrée à plus de 2 kil. se filtre partiellement aux extrémités des pièces soumises à la préparation, de sorte que la quantité de sulfate introduite dans le bois n'est pas en proportion du titre de la liqueur; mais comme il ne s'agissait, dans les essais à faire, que de préparation superficielle, le filtrage n'était plus à craindre et le litre de la liqueur a été porté à 5 kilog. par hectolitre.

Il y avait d'ailleurs un grand intérêt à introduire dans la partie préparée la plus grande quantité possible de sel, et, à cet effet, on a cherché si par des opérations successives on augmenterait très-notablement la proportion du sel fixé. On avait soin, bien entendu, de laisser les bois sécher complétement entre deux opérations successives; mais malgré cette précaution les résultats obtenus ont été loin d'être proportionnels au nombre des opérations.

Ainsi qu'on le verra dans la note de M. Rancès, les résultats obtenus sur diverses essences de sapin n'ont pas été satisfaisants; la préparation avait peu diminué l'inflammabilité des bois.

Des expériences faites à la Compagnie des omnibus, à Paris, postérieurement à celles de M. Rancès, ont donné des résultats plus concluants, on a remarqué que les bois préparés pouvaient devenir beaucoup moins inflammables; leur surface se recouvrait d'une couche de cendres abondantes.

Il est donné lecture de la note de M. Rancès. Après quelques considérations sur l'utilité des essais, M. Rancès développe les raisons qui ont fait donner la préférence au sel marin, et indique le dosage de la liqueur employée.

Ces expériences ont été faites à Bordeaux chez le concessionnaire du brevet Legé et Fleury-Pironnet, dans les appareils qui servent à préparer les bois par ce procédé.

Les bois expérimentés se composaient de madriers et de planches de sapin blanc et rouge, et madriers de pitch-pins. Quelques-unes de ces pièces étaient entièrement en bois de cœur, d'autres contenaient de l'aubier, d'autres, enfin, entièrement en aubier.

Certaines pièces ont été préparées jusqu'à quatre fois, d'autres trois fois, d'autres deux fois seulement en laissant toujours entre deux opérations successives assez de temps pour que le bois ait pu sécher.

M. Rancès consigne ensuite, dans un tableau, les conditions dans lesquelles ont été faites les expériences ainsi que les résultats obtenus quant à la quantité de liqueur absorbée.

En examinant ce tableau on remarque que pour la même essence, certaines pièces, entièrement de cœur, ont plus absorbé de liquide que d'autres contenant de l'aubier.

M. Rancès explique cette anomalie plus apparente que réelle par la présence, dans les pièces de cœur, de nœuds qui ont absorbé beaucoup.

On voit également que le cœur de pitch-pins n'a pas absorbé plus de 3 à 4 p. 100.

Que le cœur du sapin blanc, et surtout celui du sapin rouge s'est mieux injecté que le cœur de pitch-pins.

Qu'enfin l'aubier des trois essences, surtout celui du sapin blanc et du sapin rouge, s'est imprégné de dissolution dans une très-forte proportion.

Les planches avaient conservé leur rectitude pendant la préparation, elles ne se sont pas gondolées en séchant.

L'analyse faite sur une pièce entièrement en aubier de sapin rouge, qui avait été injectée quatre fois, a montré que ces opérations successives, loin de quadrupler la dose de sel solide introduite dans le bois, l'a seulement augmentée dans la proportion de 1/4 à 1/3, c'est-à-dire de 1/12 ou de 8 p. 100 environ. M. Rancès conclut de là, qu'il vaut mieux se borner à une ou deux préparations et forcer le titre de la liqueur.

Pour se rendre compte de l'influence de la préparation sur la combustibilité, on a dressé, avec des échantillons complétement secs, cinq petits bûchers de un décistère chacun, composés de pièces de dimensions identiques disposées en grillage, de manière à laisser des vides pour le passage de la flamme.

Le premier bûcher était en sapin blanc non préparé.
Le second id. id. rouge, id.
Le troisième id. id. pitch-pins, préparé trois fois.
Le quatrième id. id. blanc, id.
Le cinquième id. id. rouge, id.

Allumés tous les cinq au même moment, ils ont tous brûlé sans discontinuer avec flammes. Les trois premiers ont été consumés en 45 minutes, les deux derniers ont duré 10 minutes de plus.

La flamme de ces derniers était un peu moins longue, la surface des pièces était plus noire, en un mot, la combustion était un peu moins facile.

Un morceau d'aubier de sapin rouge, préparé quatre fois, introduit dans le cinquième bûcher, ne s'est enflammé qu'au bout de dix minutes environ.

Ainsi on voit que la préparation au sel marin n'exerce pas une grande influence sur les propriétés combustibles des bois. Il est certain cependant que les bois deviennent d'autant moins inflammables, qu'ils contiennent plus d'aubier, il est donc probable qu'on aurait obtenu un meilleur résultat, si on avait opéré sur des bois légers, contenant peu d'aubier, comme le peuplier, par exemple.

L'introduction du sel marin n'augmente que faiblement la dureté des bois.

M. Rancès établit comme suit le prix de revient de la préparation, en admettant que la quantité de sel solide fixé soit de 30 kil. par mètre cube :

Valeur de 30 kil. de sel marin à raison de 25 fr. les 1,000 kil.....	0f 75
Manutention des bois, entretien des appareils, personnel de surveillance, chauffage de la machine et frais divers (comme pour la préparation au sulfate de cuivre par le procédé Legé et Fleury Pironnet).....	1 75
Total.....	2f 50

La dépense de préparation n'augmenterait donc que faiblement la valeur des bois.

En résumé, il résulte des expériences faites :

1° Que la quantité de sel absorbé est loin d'être proportionnelle au nombre d'opérations;

2° Que la présence du sel dans le tissu du bois en diminue un peu l'inflammabilité; mais que cependant la quantité de sel fixée n'est pas assez considérable pour empêcher la flamme de se produire dans la combustion;

3° Que l'introduction du sel dans le bois n'en modifie pas très-sensiblement les propriétés au point de vue du travail à exécuter pour la mise en œuvre des pièces;

4° Que le prix de revient de la préparation ne s'écarte pas sensiblement de 2 fr. 50 par mètre cube;

5° Que la préparation n'altère pas sensiblement la forme du bois, d'où il résulte que les bois peuvent être préparés, après avoir été préalablement débités aux dimensions de l'emploi, condition indispensable d'ailleurs, pour que la quantité de sel absorbée atteigne une notable proportion dans les bois de cœur.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que les résultats obtenus par M. Rancès sont à peu près nuls.

M. FLACHAT dit qu'en effet, à la suite de ces essais, il avait été à peu près découragé, mais que les expériences faites depuis à la Compagnie des omnibus lui avaient rendu quelque espoir. Il se propose de les continuer. Il pense d'ailleurs obtenir des résultats beaucoup meilleurs sur les bois tendres tels que le grisard, le hêtre, utilisés déjà dans les menuiseries des navires. Si l'effet n'était pas suffisant en agissant sur des pièces épaisses on multiplierait les surfaces préparées en composant les menuiseries avec des bois très minces superposés.

M. FLACHAT rappelle que des bois préparés avec des silicates ont été essayés au Champ-de-Mars, sans qu'on ait remarqué aucun ralentissement dans les combustions; la préparation n'avait pas eu d'effet.

M. BENOIT-DUPORTAIL donne ensuite communication de son mémoire sur l'enseignement professionnel. Pour bien traiter cette question, il croit qu'il faut se placer à un point de vue plus général et par conséquent plus élevé, et examiner la question de l'enseignement en général.

Il y a, selon lui, quatre parties essentielles et distinctes dans l'éducation d'un homme :

La première partie comprend l'éducation morale, religieuse et philosophique; c'est l'éducation proprement dite;

La deuxième comprend l'éducation littéraire; c'est l'instruction;

La troisième comprend l'éducation scientifique et physique;

La quatrième et dernière comprend l'enseignement professionnel.

Chacune de ces branches de l'enseignement peut se subdiviser elle-même en plusieurs degrés et être primaire, secondaire ou supérieure, suivant la capacité des individus et les moyens qui sont employés pour leur éducation.

On reconnaît *a priori* que les deux premières parties sont indispensables pour tous les hommes, parce qu'elles développent notre intelligence et nous permettent de nous rendre mieux compte de nos devoirs.

M. BENOIT-DUPORTAIL prouve que le programme des études et le choix des livres adoptés par l'Université dirige à la fois l'enseignement scolaire dans ce double but, aussi bien dans les lycées que dans les établissements primaires et secondaires.

Il fait observer qu'il est tout naturel que les jeunes gens qui sortent du lycée n'aient pas une position et un avenir assurés, puisque l'enseignement universitaire

n'est que le commencement de l'enseignement, et qu'il a besoin d'être complété par des études spéciales et professionnelles.

L'enseignement universitaire est la catégorie supérieure de l'enseignement moral, philosophique, religieux et littéraire au point de vue général, comme l'École polytechnique et l'École centrale sont les écoles supérieures pour l'enseignement professionnel.

A côté du point de vue intellectuel, il y a dans la vie un point de vue pratique et matériel qui est tout aussi important, qui exige de longues études et auquel il faut préparer les jeunes gens. C'est pour cela que l'Université devrait adjoindre l'étude des sciences physiques à l'étude des sciences intellectuelles.

Il était impossible d'adopter un programme d'études scientifiques qui répondît aux besoins de tous les élèves, quel que fût l'âge auquel ils quittassent les bancs du lycée; il fallait seulement le rédiger en vue des cas les plus importants et les plus ordinaires.

Il n'y avait pas lieu de s'occuper de l'enseignement scientifique pour les élèves qui suivent les carrières libérales, comme on dit encore aujourd'hui dans un style empreint des préjugés du paganisme, puisqu'ils le dédaignent et ne comprennent pas ce qu'il y a de sublime dans la nature et dans les sciences naturelles.

Il n'y avait lieu de s'en occuper que pour les élèves qui se destinent aux écoles spéciales, c'est-à-dire à l'École navale, à l'École polytechnique, aux Écoles d'Arts et métiers, à l'École centrale, à l'École de commerce, etc.

« Eh bien! dit M. Benoît Duportail, il faut le reconnaître, c'est en vue de ces carrières que l'enseignement scientifique a été organisé dans les lycées. On enseigne dans les classes inférieures l'arithmétique et la géométrie, qui sont la base de cet enseignement scientifique, et dont les éléments sont difficiles à apprendre pour la plupart des élèves. Les professeurs intelligents familiarisent de bonne heure les élèves avec l'emploi des lettres pour représenter des quantités numériques, ce qui est la seule idée difficile en algèbre; toutes les autres sciences ne sont pour ainsi dire que des applications de l'arithmétique, de la géométrie et de l'algèbre, et, quand on sait bien ces trois sciences, on apprend facilement toutes les autres. »

Il fait observer que l'on ne peut pas apprendre la physique sans avoir des connaissances d'une certaine étendue sur l'arithmétique et la géométrie, que l'on ne peut pas étudier la chimie sans connaître la physique; que l'on ne peut pas faire de la minéralogie sans avoir certaines connaissances en chimie et en géométrie.

« Tout cela s'enchaîne, et nous devons forcément suivre la marche que la nature elle-même a tracée. Eh bien! il faut le reconnaître encore, le programme universitaire est conforme à ces exigences de la nature des choses qui déterminent l'ordre et la division des diverses parties de l'enseignement. Il ne faut pas oublier, en effet, que les mathématiques et les sciences physiques en général ne peuvent pas s'apprendre utilement dans l'enfance, parce qu'il faut d'abord que l'esprit ait acquis une certaine rectitude de raisonnement et une certaine précision, afin de ne pas se former sur ces objets des idées fausses qui seraient plus fâcheuses que l'absence complète de notions, en sorte qu'on ne peut pas commencer cet enseignement avant treize ou quatorze ans, pour la plupart des élèves. »

M. Benoit-Duportail est d'avis cependant qu'il y a une science que l'on doit faire apprendre de bonne heure aux jeunes gens et répandre non-seulement dans les lycées, mais aussi dans les écoles primaires : c'est l'histoire naturelle que chacun a besoin de connaître, et que l'on peut étudier sans aucune étude préliminaire.

Il y a une autre chose qu'il regrette plus vivement encore de ne pas trouver dans l'enseignement universitaire, c'est le dessin, car le dessin est aussi indispensable que l'arithmétique; c'est, comme le disait un ingénieur éminent [1], la langue de l'ingénieur. A ce point de vue, l'enseignement dans les lycées ne répond pas aux besoins de l'époque, et l'enseignement primaire est beaucoup plus avancé. Il faut remarquer, d'ailleurs, qu'il n'est pas nécessaire de savoir l'arithmétique ni la géométrie pour apprendre le dessin linéaire, et qu'on peut devenir très-habile à l'aide de procédés graphiques, sans le secours de la théorie.

A part ces modifications, qui présentent assurément un intérêt réel, M. Benoît-Duportail ne voit pas ce qu'on pourrait réclamer à l'Université.

« Ce qui est vrai pour les élèves des lycées, ajoute-t-il, l'est également pour les élèves des établissements primaires et secondaires. C'est en vain qu'on voudrait remplacer les études littéraires par des études scientifiques, car on ne peut pas espérer que l'on fera mieux comprendre les mathématiques à des enfants de dix ou douze ans. Il est certain, d'ailleurs, que si l'un des deux enseignements présente un avantage sur l'autre, c'est l'enseignement primaire et secondaire dont l'étude du dessin fait partie intégrante, tandis qu'il n'est qu'un accessoire fort négligé dans les lycées. »

Pour que l'enseignement scientifique soit complet, il suffit qu'il existe pour chaque spécialité des écoles spéciales où chacun puisse étudier les sciences qui lui seront nécessaires pour l'exercice de la profession à laquelle il se destine. Or, ces écoles ne font pas défaut; tous les membres de notre Société sont sortis des écoles spéciales, les écoles d'Arts et métiers, l'École polytechnique, l'École des mines de Saint-Étienne, l'École centrale, sont certainement des écoles professionnelles supérieures.

Il reste cependant quelques lacunes, et il serait nécessaire de créer une école spéciale pour la filature, le tissage, la teinture et les industries qui s'y rattachent, et une autre école pour la poterie, la verrerie, la briqueterie et les arts plastiques industriels en général; mais ce ne sont là que des lacunes dans un enseignement qui répond d'une manière générale à la plupart des besoins de notre époque.

Il est certain que si l'enseignement scientifique primaire ne répond pas entièrement aux besoins de l'époque, il rend cependant des services très-importants.

« Ne connaissons-nous pas tous ces cours élémentaires qui sont répandus dans les « grands centres de population, et où l'on professe la physique, la chimie, le dessin, « l'algèbre même, et la mécanique, et qui se multiplient de plus en plus, grâce à « l'initiative pleine de dévouement de l'association polytechnique et de son vénérable « et bien-aimé président, M. Perdonnet. »

« Jusqu'ici, dit M. Benoît-Duportail, l'état actuel des choses m'a paru à peu près satisfaisant; mais il n'en est pas de même du quatrième point, qui concerne l'enseignement professionnel.

« Il est certain que l'industrie souffre dans ce moment, qu'elle souffre beaucoup d'un mal qui exige un prompt remède; mais la question est de savoir quel doit être le remède, et comment il faut l'appliquer.

« On a pensé qu'il conviendrait de créer un nombre considérable d'écoles professionnelles spéciales, où les ouvriers des divers corps d'état acquerraient la pratique de leur profession, de leur métier. Je crois, pour ma part, que cette voie est mau-

1. M. Olivier.

vaise, qu'elle est fausse, et qu'elle ne condu
complications sans résultat.

« Je crois, en effet, que ce qu'on est co
fessionnel, sort du domaine de l'enseigne
qu'on appelle l'enseignement professionn
plement un apprentissage, c'est le comr
une affaire d'atelier et non pas une ques

« L'apprentissage n'est pas spécial
toutes les professions sans exception :
sent plusieurs années dans l'atelier d
sage; il en est de même du jeune ar
un autre architecte ou chez un autr
il en est de même du jeune notai
dans une étude pour apprendre à f
et des inventaires après décès; il e
font leur apprentissage sous le nc
est de même de tous les états, de
fessions en général; il n'y a de
fait, mais la marche générale e
suivent la carrière diplomatiqu
dans une préfecture ou dans l
tissage.

« Il faut entrer dans une ét
pour faire son apprentissage
mille détails, ces mille secre

« Je viens, Messieurs, d
question : c'est dans les ét
l'on veut embrasser, et là s
qu'il faut faire son appren
magasins ou les bureaux
écoles qui coûteraient f
l'apprentissage que l'on
commandé par les hom
surs d'avoir des ouvrie
qui lutteront avec avar

« Ce qui manque r
pour les besoins de l'

« Il faudrait, dans
dans l'intérêt de leu
garantie d'un contr
engagements récip

« Dans de telles
vent l'être, de vér
sionnel qui leur

M. Benoit-Dup
des ouvriers et
prentissage dan
moyenne pend

faite ans, ce rapport devrait être de dix pour cent environ, s'il n'y avait pas d'autres causes qui vinssent le modifier.

Mais, comme il se trouve dans tous les ateliers un grand nombre d'hommes de peine, et qu'il existe des professions, telles que celles de terrassier ou de frappeur, qui n'exigent pas d'apprentissage, il suffit que ce rapport soit de 5 à 6 pour 100.

Il serait à désirer que la proportion fût plus forte pour les ateliers qui présentent de grandes ressources de toute espèce, qui jouissent de moyens d'action et d'instruction très-puissants et où l'intelligence des jeunes gens peut se développer facilement.

M. Benoit-Duportail ne partage pas l'opinion d'hommes éminents qui ont pensé qu'il serait nécessaire de donner aux ouvriers des connaissances pratiques générales pour leur permettre de quitter leur profession dans les moments de chômage, afin d'en embrasser une autre à laquelle ils ne soient pas complétement étrangers. Il est d'avis que lorsque des ouvriers restent un certain temps sans exercer leur profession, ils y deviennent très-maladroits, et sont en quelque sorte forcés de recommencer leur apprentissage lorsqu'ils la reprennent, et qu'il n'y a que la spécialisation qui fasse de bons ouvriers. Il croit, en outre, qu'un tel ordre de choses ne pourrait produire de résultats réels que dans les grands centres de population où cette mutation, ce revirement se font d'ailleurs tout naturellement ; mais qu'il resterait sans effet dans les petites localités et dans celles qui ne doivent leur prospérité qu'à un seul genre d'industrie; que dans ce cas il faudrait créer de nouvelles industries, de nouveaux établissements avant que les ouvriers pussent songer à changer de profession dans ces localités.

A son avis, la plupart des ouvriers sans travail ne pourraient pas quitter leur pays pour aller chercher des travaux autre part, parce qu'ils ont des liens d'intérêt, d'affection et de famille qui les retiennent dans le lieu où ils habitent.

« Ils y trouvent des ressources, des secours qu'ils ne trouveraient pas dans une localité où ils sont complétement étrangers. En supposant même qu'ils trouvassent immédiatement de l'ouvrage dans le lieu où ils émigreraient, les frais et les pertes de toute espèce que leur causerait leur déplacement ne dépasseraient-ils pas souvent le salaire qu'ils trouveraient à gagner? D'ailleurs, ils n'ont pas la certitude de trouver des travaux dans les localités où ils se présenteraient, et il est souvent prudent à eux de ne pas émigrer tant qu'ils n'ont pas une place assurée quelque part. »

M. Benoit-Duportail dit que, sans entrer dans les détails concernant les écoles professionnelles, puisqu'il ne croit pas utile d'en créer, il doit faire remarquer en passant qu'une pareille institution conduirait inévitablement à une complication infinie, qu'en admettant la proportion de cinq pour cent trouvée plus haut entre le nombre des apprentis et celui des ouvriers, et en considérant que le nombre total des ouvriers français est certainement de plus d'un million, il faudrait former cinquante mille apprentis, et créer deux ou trois cents écoles différant presque toutes les unes des autres. Il suffit d'énoncer un pareil résultat pour faire comprendre les difficultés que présenterait l'organisation des écoles professionnelles.

La véritable cause du mal, c'est que nous avons trop négligé l'apprentissage.

« Reconnaissons cette faute du passé, proclamons bien haut qu'il est nécessaire que nous portions tous des soins particuliers sur la formation des apprentis, comme le font Graffenstaden, le Creuzot et le chemin de fer du Nord; appelons la sollicitude du Gouvernement sur cette question; réclamons des encouragements pour les établissements où l'apprentissage sera le plus développé et le mieux organisé, et, d'ici à

quelques années, la capacité moyenne des ouvriers français, leur r
bientôt relevés.

« Il importe d'ailleurs que les chefs d'établissements veillent à
prentis et leurs jeunes ouvriers suivent des cours destinés à leur do
littéraire et l'instruction scientifique qui sont nécessaires à tous
devenir capables dans toutes les professions, comme le font les é
j'ai cités; et soyez surs, je le répète, que par de tels moyens l'i
atteindra bientôt un degré de perfection auquel elle n'était pas enco
ce jour. »

M. Flachat considère le travail de M. Benoît-Duportail com
étude, contenant beaucoup d'aperçus nouveaux et intéressants; r
pas entièrement les opinions qui y sont exprimées.

Il diffère d'opinion sur deux points importants :

Sur les apprentissages d'abord, que M. Benoît-Duportail consid
servir de base à l'enseignement professionnel des classes ouvrière
les yeux sur la situation de l'apprentissage pour être édifié sur ce
il était, comme on le suppose, le moyen d'enseignement le plus
ficace, l'instruction des ouvriers serait suffisante, car depuis des
du patronage existe, et le patron peut apprendre à l'apprenti to
faits cependant démontrent et expliquent l'inefficacité de l'appr
faite en 1864 par la chambre de commerce de l'industrie paris
résultats suivants :

Les nombre des ouvriers est à Paris de.....	
Les fabricants travaillant seuls, ou avec un ouvrier.....	
Les façonniers.....	
Ouvriers attachés aux établissements publics.....	
Enfants au-dessous de 16 ans.....	
Total.....	

Sur ce nombre, il y a 14,161 apprentis, dont 626 enfants de
ment sont engagés avec contrat.

Ainsi, l'apprentissage ne s'étend qu'à 3.2 p. 100 du nombre

Le nombre des ouvrières est de 111,891, sur lesquelles il y a
5 p. 100, dont 214 filles de patrons. 849 seulement sont engag

Si on déduit des 15,219 garçons et filles apprenties sans con
desquels le patron spécule au point de ne laisser à l'apprenti
d'apprendre, et ceux que leur isolement moral laisse exposé
si on se rappelle en outre que l'apprentissage ayant une du
ans, c'est le quart du nombre d'apprentis ci-dessus qui entre
classe ouvrière, on arrive à cette pénible conclusion que Par
sion à 2 ou 3,000 jeunes ouvriers en plus chaque année. A
ouvrière se recrute, à Paris, tous les ans, de 20 à 30,000
appris, et apportent leurs bras pour tout moyen d'existence.

D'autres chiffres montrent encore que les 19,000 apprentis
à peine le dixième du nombre des enfants de 10 à 15 ans, a
fessionnelle de l'ouvrier est indispensable.

Comment, d'après de semblables résultats, pourrait-on c
comme un moyen sérieux d'instruction professionnelle pour

Pour les classes élevées, l'enseignement universitaire doit, selon M. Benoît-Duportail, constituer la base de toute instruction. M. Flachat pense, au contraire, que tout enseignement doit être basé sur l'étude des sciences.

Un grand nombre de notions de physique, de chimie, d'économie, de géométrie, même, peuvent être données à l'enfance par l'explication des phénomènes de la nature. La mémoire de l'enfant est essentiellement apte à s'approprier ces premiers éléments de la science par la démonstration de faits, la plupart visibles. Ces premières notions, développées de bonne heure, nous rendraient bien plutôt propres à l'étude réelle des sciences qu'en traduisant du grec et du latin.

L'enseignement universitaire, c'est-à-dire littéraire, ne donne pas les notions indispensables à ceux qui veulent embrasser les carrières élevées de la diplomatie, de la science, de l'agriculture et des lettres, car on n'est pas littérateur sans connaître les sciences; il n'a donc pas la portée littéraire et politique qu'on lui attribue; or, comme il se termine lorsque déjà le tiers de la vie moyenne est écoulé, on se trouve alors dans l'impossibilité d'entreprendre avec goût, et surtout avec fruit, l'enseignement scientifique. Il y a donc là une grande réforme à faire; c'est en cela surtout que M. Flachat ne partage pas l'opinion de M. Benoît-Duportail.

Il est au contraire à peu près d'accord avec lui sur la nature des écoles professionnelles, toutefois, il met moins de distance que M. Benoît-Duportail, entre l'enseignement général et l'enseignement professionnel.

Beaucoup de notions professionnelles peuvent devenir générales, parce qu'elles sont comme un grand nombre de professions. Il est essentiel d'abord de savoir lire à haute voix, en public, écrire et calculer facilement, posséder des notions suffisantes d'histoire et de géographie; apprendre, de préférence au grec et au latin, des langues vivantes telles que l'anglais, l'allemand... sauf toutefois pour ceux qui embrassent les professions dans lesquelles le latin et le grec sont la base de l'éducation professionnelle, comme les littérateurs, les historiens, etc.

En résumé, M. Flachat considère l'étude des sciences comme devant être la base de toute instruction, et non pas l'étude des lettres, fondement de l'enseignement universitaire; les écoles professionnelles constituant l'enseignement supérieur.

Pour l'instruction des classes ouvrières, ne pas compter sur l'apprentissage, qui n'a pu rien produire jusqu'à présent.

M. LE PRÉSIDENT ne voit dans l'enseignement professionnel qu'on cherche à développer que celui qui est applicable aux professions les moins élevées, à celles embrassées par les populations ouvrières. Pour celles-là il est de toute évidence que la connaissance du grec et du latin est absolument inutile. Mais l'enseignement professionnel élevé lui paraît parfaitement organisé.

Les avocats, les médecins, les ingénieurs, les agents forestiers, etc.; ont des écoles spéciales dont l'enseignement est tout à fait approprié aux besoins de leur profession. Pour ceux-là, il partage entièrement la préférence que M. Benoît-Duportail donne à l'enseignement universitaire pour former la base de leur instruction, et n'est pas de l'avis de M. Flachat qui voudrait commencer leur intruction par l'étude des sciences.

Pour les classes ouvrières, l'enseignement professionnel est très-rudimentaire, et peut facilement être fourni par l'apprentissage. Les notions élémentaires d'arithmétique, de géométrie et de dessin qui leur sont nécessaires pourraient leur être données dans des écoles annexées aux grands ateliers.

M. TARSCA remarque que l'Université fait bien peu pour la masse de la population. Ainsi, dans toute la France, on compte en moyenne, par collége deux ou trois élèves

suivant le cours de mathématiques élémentaires; il ne saurait affirme soit exact, mais il est certain qu'il n'atteint pas cinq. Il est bi Paris et dans les grandes villes on en compte un bien plus grand beaucoup de colléges des départements voient leurs classes de mat sertes. On peut donc appliquer à la catégorie de jeunes gens qui n versité, ce que M. Flachat a dit de ceux qui s'adressent à l'apprenti

Ainsi l'Université et l'apprentissage, l'un pour les classes élevées ouvriers ne produisent que des résultats insignifiants. Entre ces de truction se classe naturellement l'enseignement professionnel, trois tiné à pourvoir à l'insuffisance des deux autres.

Pourquoi cet état de choses? Par suite de la lutte de deux intér du père, celui du patron; tous deux cherchant à tirer du jeune l parti possible. Le patron montrant le moins qu'il peut parce que ciencieux, il s'expose à voir le père chercher un moyen de rompr son expiration. Le plus souvent, en effet, le contrat est mal observ

On conçoit combien des ouvriers formés à une telle école doive aux notions professionnelles, et cependant ils deviennent quelque tour.

Aussi voit-on dans l'industrie des gens, occupant des positions rantes, et qui n'ont aucune notion de l'enseignement professionne

M. le Président, malgré les considérations développées par M dire que l'enseignement professionnel existe, et conteste qu'il faill

M. Tresca ne conteste pas qu'il existe; mais il dit que l'eff encore assez considérable par rapport à l'importance du pers question. Beaucoup d'hommes n'entrent pas dans la professior connaissances techniques nécessaire.

M. Flachat pense que pour élucider la question, il faut la mots que dans les faits.

Or dans son opinion, contrairement à ce que pense M. Petiet, fessionnel n'existe que très-incomplétement, même pour les class la plus vulgaire fait trop souvent défaut aux littérateurs, aux dip aux juges, aux agriculteurs, etc., aux commerçants surtout.

On remarque dans les classes élevées l'absence des notions g de chimie, de mécanique qui sont indispensables dans la prof pour les chefs des grands établissements industriels; le fabrica sesseur ou exploitant d'un grand domaine, n'ont pas, même en connaissances qui leur seraient le plus utiles; du haut en bas d professionnelle n'existe pas. Les distances relatives sont peut-êtr mais le niveau général est beaucoup trop bas. C'est justement centrale a voulu combler. Sa pensée n'est pas de former exclus mais de donner aussi une base d'instruction scientifique qui du fabricant, du commerçant, de l'agriculteur et de l'industri

Il faut en convenir, à mesure que les hommes sont devenu rance est apparue, et la majorité commence à reconnaître niveau des connaissances professionnelles. Beaucoup de ch leurs fils à l'École centrale pour leur faire donner un enseig ils sentent le défaut chez eux.

Voilà ce qu'il faut entendre par ces mots *enseignement pr*

si vivement l'attention et l'intérêt. Traduits en termes plus clairs, l'enseignement professionnel devrait être considéré comme l'enseignement des moyens d'appliquer la science à l'industrie, et si cette définition est juste, il s'ensuit que la science, et non les lettres, est la préface, l'origine, la source de tout enseignement professionnel.

M. Dallot demande à répondre à certaines accusations dont la justice ne lui semble pas démontrée.

L'agitation en faveur de l'*enseignement professionnel* est née à la suite de l'exposition universelle de 1862.

Des personnes, en position d'agir puissamment sur l'opinion, se sont émues de l'amélioration incontestable, sous le rapport du goût, de quelques produits anglais. On a attribué ces progrès, non sans raison, au développement, ou plus exactement, à la création de l'enseignement du dessin chez nos voisins; et l'on a proclamé que l'infériorité de notre système d'éducation, à tous les étages, condamnait fatalement à périr la suprématie artistique de l'industrie française, si de promptes et radicales réformes ne venaient conjurer le danger.

Pour reconnaître la valeur de ces craintes, il est indispensable d'étudier l'organisation de l'enseignement professionnel en Angleterre. Dans l'*instruction primaire*, nulle part ne lui est faite, la lecture, l'écriture, le calcul et la religion étant seuls enseignés aux enfants qui la reçoivent. Cette branche de l'éducation générale grève le budget public de près de 1,000,000 liv. sterl. Les rapports des inspecteurs du gouvernement prétendent que le résultat est loin de correspondre à la dépense.

Au sommet de ce qu'on nomme en France l'*enseignement secondaire* sont les colléges d'Eton et d'Harrow. L'instruction qu'on y donne est exclusivement littéraire. Ces établissements, qui rappellent nos colléges d'avant la révolution, ne s'en distinguent que par la grande indépendance laissée aux élèves et la part extrêmement large faite aux exercices du corps.

Si l'on veut avoir la mesure des connaissances positives que les enfants de la classe moyenne et de la petite bourgeoisie puisent dans des établissements plus modestes, il suffira de citer un seul fait. Il y a quinze mois, dans un examen écrit pour l'admission aux emplois du ministère de la guerre, la question suivante fut posée : *Écrire dans le système décimal la valeur d'une somme donnée en livres, shellings et pence, à un demi penny près.*

Aucun des candidats ne parvint à trouver la solution.

L'*enseignement supérieur* est concentré dans les Universités d'Oxford, de Cambridge et d'Edinburgh. La seconde est principalement consacrée à l'étude des sciences et jouit à cet égard d'une réputation méritée. Mais si les sciences appliquées y ont accès aussi bien que les sciences pures, on n'y trouve aucun de ces cours technologiques qui font le principal objet de l'enseignement de nos écoles.

La seule trace d'enseignement professionnel que puisse découvrir l'œil de l'observateur, consiste donc dans ces nombreuses écoles de dessins, créées depuis dix ans avec plus de profusion que de méthode sous le souffle d'une panique analogue à celle que l'on essaye de répandre en France.

Les écoles industrielles de la Grande-Bretagne, ce sont l'atelier, le chantier, le bureau de l'ingénieur. Les jeunes gens qui se destinent aux constructions mécaniques vont travailler plusieurs années dans un grand établissement, chez Sharp, Fairbairn ou Maudsley, en qualité d'ouvriers. Les ingénieurs civils s'instruisent sur le terrain. C'est ainsi que se sont formés Rennie, les deux Stephenson, les deux Brunel, Joseph Cubitt, Thomas Page, Hawkshaw, et tant d'autres célèbres dans l'Europe entière.

Il ne faut pas craindre de le dire, tous ces hommes, qui sont à la tête de leur profession, ont accompli leurs travaux avec des connaissances théoriques très-restreintes et certainement inférieures à celles de la plupart des ingénieurs des autres pays. Les Anglais ont une aversion instinctive pour la déduction scientifique et les vues d'ensemble. Notre esprit systématique provoque chez eux des sourires toujours renaissants. S'en tenant exclusivement à l'aphorisme de Bacon, ils n'ont foi que dans la tradition et l'expérience.

Telle est la situation qui a suscité les terreurs au nom desquelles on réclame la *création* de l'enseignement professionnel en France. On veut bouleverser le système d'éducation de notre jeunesse. On accuse l'Université d'être un obstacle au développement de notre civilisation matérielle et de se refuser à comprendre que la société moderne repose sur le travail.

Ces attaques trouvent une réponse vivante dans le spectacle de la génération actuelle, mettant au service d'une activité industrielle sans cesse croissante un esprit scientifique qui date de la fondation de l'Université. Car, il faut le dire bien haut, le véritable esprit scientifique qui se confond avec la rigueur dans le raisonnement et auquel nous devons la sûreté de marche dans la voie du progrès qui fait la supériorité de notre génie civil, c'est sur les bancs du lycée qu'il s'acquiert, bien plus que dans les écoles spéciales, où depuis douze ans, sous prétexte de science pratique, on le redoute et on le réprime.

On a fait le procès à l'étude des langues mortes. Mais n'est-elle pas la base de tout enseignement littéraire? N'est-elle pas indispensable à la connaissance de la civilisation grecque et romaine, la seule civilisation dont l'humanité se souvienne jusqu'à l'époque récente si pittoresquement appelée *renaissance*? On oublie que ces exercices soi-disant stériles préparent merveilleusement les jeunes entendements aux études sévères et abstraites de la science, pour lesquelles d'ailleurs la minorité des intelligences a seule du goût et de l'aptitude. Quant au système qui consisterait à enseigner d'abord la science d'une façon empirique et mécanique, pour faire appel plus tard au raisonnement, on ne saurait repousser trop énergiquement cette méthode mortelle qui tuerait infailliblement l'esprit scientifique avant qu'il eût eu même le temps d'éclore.

Une expérience que tout le monde connaît jette sur ce point de vives lumières. En 1852, on voulut *réformer* l'Université et l'on inaugura la *bifurcation*. L'enseignement scientifique fut développé aux dépens de l'enseignement littéraire, dans les classes inférieures. Peu de temps après, on eut à constater dans les classes supérieures et dans les examens qui terminent les études un abaissement égal de l'instruction des élèves dans les deux branches. Il a fallu supprimer la bifurcation, et en revenir à l'état de choses antérieur, tel qu'il existait depuis le passage de M. Guizot au ministère de l'instruction publique en 1834.

Que l'Université continue donc à former des hommes et à dispenser libéralement tous les genres de connaissances sans lesquelles il est impossible d'atteindre à une véritable supériorité dans quelque carrière que ce soit. Qu'elle se garde surtout de transformer ses lycées et ses facultés en écoles professionnelles.

Dans un autre ordre d'idées, on a cité des résultats de statistique dignes de la plus grande attention. On ne peut se soustraire à une émotion douloureuse devant une pareille révélation sur la situation de l'apprentissage. Il y a là une réforme urgente à accomplir. Personne ne le nie. Toutefois, la question présentée sous cette forme n'est-elle pas de nature à inspirer des craintes exagérées sur le recrutement de nos

que le passé qui l'a précédé. Or, il y a quarante ans, l'industrie mécanique, pour prendre un exemple, était à peu près nulle en France. L'Angleterre avait plus d'un siècle d'avance sur nous. Cependant, nous avons su rejoindre notre rivale avec des ressources en enseignement professionnel bien moindres que celles qui existent actuellement; et aujourd'hui, si l'on construit aussi bien, on ne fait plus mieux que nous, en prenant bien entendu de part et d'autre les termes de comparaison au sommet de l'échelle. Un célèbre constructeur anglais, qui vient de voir travailler nos ouvriers sous ses yeux, se propose, dit-on, de fonder des ateliers à Saint-Nazaire, pour utiliser les aptitudes de nos mécaniciens. La seule supériorité que l'on attribue encore à l'ouvrier anglais, c'est de savoir se spécialiser mieux que le nôtre, et d'avoir la patience de consacrer sa carrière tout entière à l'exécution d'une seule et même catégorie de pièces. Ces ouvriers d'élite, que nos rivaux nous envient, c'est dans les ateliers français qu'ils se sont formés, et l'on peut dès-lors ne pas s'effrayer outre mesure sur l'avenir d'une organisation industrielle qui produit de pareils coopérateurs.

Si donc il y a utilité et urgence à réclamer la réforme de l'apprentissage, il n'y a pas lieu de désirer la création d'écoles où l'on enseignerait la pratique des diverses professions. Car sans s'arrêter à ce qu'une pareille idée aurait d'irréalisable, la meilleure école, l'expérience universelle le proclame, c'est l'atelier.

La grande réforme qui s'impose aux hommes actuellement à la tête des affaires, celle sur laquelle on ne saurait trop insister, c'est la réforme de l'enseignement primaire. Voilà où gît notre infériorité. Voilà le point où il faut concentrer nos efforts. Le jour où tout individu en France saura lire, écrire et compter, on pourra se confier à l'initiative personnelle pour le reste. En demandant plus à l'État, outre que ce serait demander l'impossible, on oublierait que toutes ses dépenses sont couvertes par l'impôt, et que les ressources publiques ne doivent être consacrées qu'aux besoins publics indispensables. L'instruction primaire est de ce nombre. Mais l'État ne doit de profession à personne.

MM. Euverte, Lartigue, Lahure, Pelegry, Picard, Robert, Rozycki, Ruehlmann, Courtin, Gosset et Leloup ont été reçus Membres Sociétaires et MM. Even et Cordier, Membres Associés.

Séance du 4 Novembre 1864.

Présidence de **M. Petiet.**

M. le Président fait part à la Société du décès de M. Holcroft, membre sociétaire.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. Aristide Dumont, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et de M. Louis Richard, membre de la Société, par laquelle ces messieurs demandent qu'une commission soit nommée dans le sein de la Société,

pour examiner leur avant-projet d'un canal maritime de Dieppe à Paris, et faire un rapport sur ce travail.

M. LE PRÉSIDENT a répondu à ces messieurs que cette proposition serait faite à la Société, et que si elle était acceptée, le rapport de cette commission pourrait donner lieu ultérieurement à une discussion en séance ; mais que, conformément à l'art. 46 de notre règlement, la Société elle-même n'avait pas d'avis à donner; ces messieurs auraient seulement l'opinion individuelle des membres qui auraient fait ce rapport et de ceux qui prendraient part à la discussion.

M. FLACHAT dit ensuite qu'il a reçu une lettre de M. Charles Manby, lui signalant une erreur dans son rapport, lu dans la séance du 7 octobre ; à la page 185, il est dit que sur la proposition de M. Ferdinand de Lesseps, M. Hawkshaw, président de la Société des ingénieurs civils de Londres, fut consulté par le vice-roi, tandis qu'au contraire c'est sur la demande du vice-roi lui-même que M. Hawkshaw aurait été consulté, et sans l'intervention de M. Ferdinand de Lesseps.

M. BADOIS donne ensuite communication de son travail sur les travaux à effectuer pour le creusement du canal maritime de Suez, dans la traversée des lacs Menzaleh et Ballah, partie qu'un séjour d'une année à Port-Saïd lui a permis d'étudier plus spécialement.

Cette portion comprend 61 kilomètres, outre le bassin du port sur la Méditerranée. le canal doit y être ouvert à une largeur au plan d'eau de 58m, au plafond de 22m, et à la profondeur générale de 8m au-dessous du niveau moyen de la Méditerranée.

La direction générale est celle d'une ligne droite allant du nord au sud et formant un angle de 4° environ avec le méridien.

La profondeur d'eau qui est de 0m,80 en moyenne à Port-Saïd, décroît insensiblement jusqu'à l'extrémité des lacs. Plusieurs parties se trouvent même à sec lors des basses eaux du Nil.

Les points principaux du parcours sont : au kilomètre 14 le campement de Raz-el-Ech, proche du passage de l'ancienne branche Pélusiaque du Nil, et remarquable par un dépôt de vases très-fluantes sur 2 kilomètres de long et plusieurs mètres de profondeur; au kilomètre 38 le petit seuil du Cap, qui n'a que 1 à 2m d'élévation et 6 kilomètres de longueur. Les terres en ce point sont très-glaiseuses. Au kilomètre 44 le campement de Kantara, important par sa position entre les lacs Menzaleh et Ballah et par le passage des caravanes allant du Caire en Syrie.

Les terrains traversés sont généralement faciles à draguer; ils se composent en grande partie, dans le lac Menzaleh, de sable et de vase quelquefois purs, mais le plus souvent mélangés. Le sable domine à Port-Saïd, et sur les six premiers kilomètres. A Raz-el-Ech, c'est la vase presque pure, contenant parfois des bancs de coquillages. — Au Cap, ainsi qu'il a déjà été dit, la terre devient glaiseuse. Il a été constaté en outre l'existence de bancs de grès agglomérés, coquilleux et très-durs, mais ils ne sont regardés que comme des accidents et comme pouvant, moyennant certaines précautions à prendre, être enlevés à la drague.

Dans les lacs Ballah, ce sont les marnes, et en particulier les marnes gypseuses qui alternent avec les sables ou y sont mélangés. Des bancs de gypse de 4 kilom. de longueur y ont été rencontrés, mais ils ont dû être enlevés à sec et n'entraveront pas le travail des dragues.

Reprenant le travail à son début, M. Badois le divise en trois périodes :

1° Creusement d'une rigole à petite section devant établir une communication par

voie d'eau entre Port-Saïd et Ismaïlia, et formation des berges provisoires qui doivent garantir cette rigole. Cette période est accomplie aujourd'hui ;

2° Formation des berges définitives dans les parties sous l'eau, au moyen des déblais provenant de l'approfondissement du canal à 3 ou 4m, sur toute sa largeur. L'importance du cube restant à déplacer pour cela serait d'environ 3,700,000m ;

3° Enlèvement du surplus du terrain jusqu'à 8m de profondeur. Le cube à effectuer serait de 18 millions de mètres à peu près, en y comprenant les 5 millions de mètres à extraire du bassin de Port-Saïd, dont une partie, comme on le sait, doit être employée à former le remblai de la ville.

PREMIÈRE PÉRIODE. — CREUSEMENT DE LA RIGOLE A PETITE SECTION.

L'appareil que l'on a employé exclusivement pour ce travail, dans les parties où il n'a pu être fait à bras d'homme, est la drague à couloir déversant directement les produits à l'endroit de la berge à former. Le mémoire s'étend sur les considérations qui ont fait chercher à allonger autant que possible les couloirs qui étaient tout d'abord assez courts, dans le but d'obtenir une fouille plus large et par suite un remblai plus considérable et une berge plus solide. Il cite la drague n° 6 comme étant celle où l'on est allé le plus loin dans cette voie. Elle était munie d'un couloir en tôle de 15m en dehors du bateau, ce qui équivalait à une longueur de 18m depuis l'axe, et il constate qu'on a obtenu avec ces dimensions une largeur de fouille de 24m, en y comprenant 2 à 3m d'éboulement, et qu'on a marché dans de bonnes conditions pendant plusieurs mois.

On a pu obtenir régulièrement un cube de 8 à 10,000m par mois, soit 350 à 400m, mesurés au déblai, par dix heures de travail effectif dans du sable fin et compacte, peu argileux et assez lourd.

DEUXIÈME PÉRIODE. — CONFECTION DES BERGES DÉFINITIVES.

Ces résultats ont amené M. Badois à penser qu'en adaptant de longs couloirs aux grandes dragues construites par les forges et chantiers de la Méditerranée, et par la maison Gouin, on pourrait par le même procédé arriver à terminer les berges dans les 40 kilomètres où les terres sont immergées ou à fleur d'eau.

« En effet, dit-il, que le couloir soit assez long pour que l'on atteigne par voie de papillonnage la demi-largeur du canal en déversant toujours sur la berge, on pourra par deux opérations faites l'une sur le côté ouest, l'autre sur le côté est, draguer toute la largeur.

« Que d'autre part, on ait le moyen (par l'addition aux terres draguées, d'une quantité d'eau suffisante, par exemple) de faire glisser les déblais sur ce long couloir, on profitera de la grande hauteur à laquelle on doit les élever et de leur gravité pour en opérer le transport jusqu'à la berge. Il faudra, en outre, que leur répartition sur la berge se fasse d'elle-même et sans embarras. »

M. Badois établit que la longueur du couloir pour le but qu'il se propose devrait être de 25m, et comparant la drague n° 6 avec les nouvelles dragues, il trouve dans les dimensions de ces dernières, dans leur stabilité, dans la solidité de leur construction entièrement en fer, la possibilité de l'installation sur ces dragues d'un tel

couloir qui ne serait que 7m plus long que celui que portait la drague n° 6, construite en bois, bien moins solidement, par conséquent, et ayant des dimensions bien moins favorables comme stabilité.

Pour faire glisser les terres sur la pente de 0m,10 qu'il donne au couloir, il injecte au haut de la trémie et au moyen de pompes une quantité d'eau égale en volume à la moitié du produit dragué et donne à cette eau une vitesse de projection correspondante à 6 ou 8m de hauteur.

Il attribue à l'eau un double rôle : 1° celui de lubréfier les matières, et de diminuer ainsi le frottement sur la surface du couloir; 2° celui de les entraîner par sa puissance vive, et il indique la forme de couloir qui, suivant lui, favorise le mieux ces deux actions, à savoir une première partie très-inclinée se raccordant par une courbe adoucie à la pente générale.

Il cherche à prouver par un calcul la véracité de son assertion sur l'entraînement des terres par la quantité d'eau écoulée, et il trouve que cette eau lui procurera une vitesse d'écoulement de 5m,25 au minimum, en supposant un déblai de 100 mètres par heure.

Il assure que, grâce à cette vitesse, les terres ne s'arrêteront pas sur la berge au point où elles tomberont, mais couleront à une grande distance, qui ne sera pas moindre de 40 mètres pour le sable et 60 mètres pour les terrains vaseux. Ces chiffres sont, du reste, ceux qu'il dit avoir obtenus à Port-Saïd même, dans les dragages qu'il a fait opérer. Il calcule que la force exigée par les pompes ne serait que de un douzième environ de la force nominale des machines des nouvelles dragues, et conclut enfin en proposant l'emploi de ce procédé comme très-pratique et comme ayant, sur les autres modes de transport des terres, en outre de l'avantage du peu de matériel et de la facilité d'installation et de conduite au chantier, celui de donner les meilleures berges, parce qu'elles seront obtenues sous un talus très-incliné.

Le prix de revient qu'il établit permettrait d'effectuer le mètre cube de déblai à 0f,67. La nécessité d'amortir en trois années la valeur du matériel et les frais généraux augmenteraient ce prix de 0f,33, et conduiraient au prix de 1 fr. 25 c.

TROISIÈME PÉRIODE. — CREUSEMENT DU CANAL A 8 MÈTRES.

Dans cette partie de son travail, M. Badois examine les différents modes de transport des déblais qui peuvent être appliqués dans la partie des lacs.

L'emploi des bateaux à clapets de fond allant déjeter en mer les produits des dragages lui paraît le plus simple; mais, tout en reconnaissant que le touage peut rendre son emploi très-économique, il ne l'admet que pour l'enlèvement des terres du bassin de Port-Saïd, qui ne serviraient pas au remblai de la ville, et pour les déblais des sept premiers kilomètres environ. Il craint qu'au delà de ce point, le remorquage ne s'effectuant qu'avec une vitesse de 3 kilomètres à l'heure, on soit conduit à l'emploi d'un matériel trop considérable, à cause de la longueur des voyages.

L'emploi des grues qui a eu lieu jusqu'ici au canal de Suez est critiqué par M. Badois.

« Théoriquement, dit-il, c'est un appareil qui élève les déblais beaucoup plus haut qu'il n'était nécessaire. Pratiquement, il est compliqué, sujet à une usure considérable, à des accidents, à des réparations, et par conséquent à des arrêts fréquents.

tance du sol. La grande volée de 8 ou 10 mètres, qui lui est nécessaire pour prendre les caisses dans les chalands et former le cavalier est une cause très-grande d'instabilité et ne lui permet pas d'opérer ses mouvements assez vite pour qu'une seule grue puisse élever les produits d'une drague donnant 400^{mc} par heure; d'où division du chantier, ce qui est très-fâcheux; car, outre que sa conduite et sa surveillance sont plus difficiles, l'arrêt d'une seule des deux grues entraîne un ralentissement dans le travail de la drague et rend inactif un personnel considérable de matelots et de terrassiers. »

Le drop serait plus sûr, mais d'une installation trop coûteuse par rapport à la quantité de terre à extraire par mètre dans les lacs.

« La toile sans fin métallique présente l'avantage théorique de donner un transport constant de peu de déblais à la fois, et de supprimer tout un matériel accessoire de chalands, caisses à déblai, wagons, etc., et le personnel assez nombreux qui y est attaché.

« Mais les terres sont assujetties à tomber toujours au même point, tout le temps que la drague parcourt la longueur du canal, ce qui conduit à les déposer en cavaliers assez hauts. Or, en certains endroits vaseux, cela peut être une surcharge dangereuse pour les berges.

« De plus, pour emploi utile, il faut faire la toile sans fin très-longue, de 50 mètres environ; d'où un grand nombre d'articulations, par conséquent un grand frottement et une grande usure, surtout dans le sable; d'où aussi une force assez considérable exigée pour la mouvoir, un renouvellement complet des pièces qui s'usent à des termes très-rapprochés, et des arrêts fréquents causés par des ruptures de boulons, maillons, etc.

« Les plans inclinés établis en des points fixes et remontant des wagons chargés directement sous la drague sont d'un emploi plus pratique et plus simple, suivant M. Badois. »

M. Badois suppose que des pontons en bois, de construction très-simple, amèneraient sous la drague les wagons de 3 à 3 mèt. 1/2 au nombre de 10 et rangés sur deux lignes. Chaque ponton, contenant environ 30 mètres, serait chargé en vingt minutes. La distance des plans inclinés ne dépasserait pas 5 ou 600 mètres, et pourrait être franchie dans le temps nécessaire au chargement d'un ponton. Dans le même temps, les dix wagons seraient élevés par la machine, déchargés et ramenés par des chevaux, des chameaux ou des moyens mécaniques.

4 pontons et 40 wagons suffiraient alors à un chantier d'une drague donnant 1,000^{mc} par jour, et chaque wagon transporterait 25^{mc}.

Un plan incliné servirait au déblayement d'un kilomètre, ce qui durerait cinq ou six mois. Les dispositions pourraient être prises pour en rendre le déplacement très-facile.

En résumé, M. Badois propose, pour terminer le canal, dans les 61 kilomètres où le tracé traverse les lacs Menzaleh et Ballah :

1° L'achèvement immédiat des berges dans les parties immergées ou à fleur d'eau.

2° L'emploi pour ce travail de grandes dragues munies de couloirs de 25 mètres, déversant directement sur berge les produits du dragage, dont le transport aurait lieu par l'action d'une grande quantité d'eau injectée par des pompes avec une certaine vitesse de projection.

3° Simultanément, avec le travail précédent, l'emploi des plans inclinés au petit seuil du Cap et à Port-Saïd pour le remblai de la ville.

4° Le transport en mer par bateaux à clapets de fond, avec application du tonnage des déblais du port de Port-Saïd, qui ne serviront pas au remblai de la ville, et des sept premiers kilomètres environ, aussitôt que les jetées de l'avant-port seront assez avancées pour permettre d'organiser ce service d'une manière certaine.

5° Enfin l'emploi général des plans inclinés sur le reste des 64 kilomètres, aussitôt que les berges définitives seront achevées.

« Il estime qu'avec les vingt grandes dragues dont va disposer la Compagnie et les quinze petites dragues encore en état de service, on arriverait à effectuer en trois années le déblai des 18,000,000^{mc} restant à enlever, en supposant qu'il y ait toujours un dixième du matériel en réparation.

Sans vouloir entrer dans le détail des travaux à faire dans les portions du canal autres que les lacs de Menzaleh et Ballah, M. Badois remarque qu'une partie des terres devront être enlevées à sec et qu'il sera avantageux d'employer dans ces parties l'excavateur ou drague à pivot, pour terrassements à sec, de MM. Frey et A. Sayn. Cet appareil, dont la description suit, se compose principalement d'une charpente comprenant l'élinde sur laquelle s'enroule la chaîne à godets qui peut se mouvoir suivant un arc de cercle horizontal. Cette même charpente reçoit la chaudière et la machine à vapeur qui se meuvent avec elle, ainsi que tous les organes mécaniques produisant les divers mouvements. Elle opère sa rotation sur un châssis porté sur les essieux de grands rouleaux qui posent sur le sol et doivent produire la marche de tout l'appareil.

Un déversoir mobile pouvant occuper toutes les positions d'un limbe de 180 degrés, donne la plus grande facilité pour le chargement direct des produits, soit dans les wagons, soit dans les tombereaux. Ce déversoir peut être remplacé par une toile sans fin déposant les déblais en cavaliers parallèles à la ligne que suit le dragage.

La transmission du mouvement de la machine au tourteau moteur se fait par courroie, et l'embrayage se fait par un tendeur qui donne à volonté à la courroie la tension nécessaire.

Les mouvements de giration de l'élinde et de translation de tout l'appareil se transmettent à des roues à vis sans fin, par des engrenages d'angle avec manchons d'embrayage et peuvent être obtenus soit dans un sens, soit dans le sens opposé par un simple renversement de levier.

Le mécanicien est placé de manière à diriger seul tout le travail et peut produire facilement tous les mouvements.

M. Badois insiste particulièrement sur les dispositions de l'appareil dragueur et sur celles des rouleaux qui opèrent la translation de la drague.

L'élinde, au lieu d'être droite comme dans les dragues ordinaires, est triangulaire. Ce qui permet de prendre la terre sur une hauteur de 4 à 6 mètres, et suivant le talus naturel.

Les tourteaux qui opèrent le renversement de la chaîne à godets sont mobiles dans des glissières, de manière à se rapprocher ou s'écarter à volonté et à donner à la chaîne une tension à peu près toujours la même malgré l'usure des boulons et des mailles.

Les godets sont en tôle mince, d'une contenance de 30 litres, et passent au nombre de 30 par minute.

Le mouvement de translation de la drague s'opère par un pignon entraînant par le moyen de chaînes de gales les deux essieux porteurs. Il peut se faire en tirant

droite et, soit en avant soit en arrière, et aussi circulairement. Pour cela une disposition spéciale permet de faire converger plus ou moins les axes des rouleaux. Les essieux ne sont fixés au châssis que d'un côté; de l'autre ils sont embrassés par un coulisseau qui peut se mouvoir dans une glissière.

Le mode de travail le plus naturel de cet appareil est le dragage par papillonnage.. C'est le seul à employer pour ouvrir une tranchée. Mais on peut aussi s'en servir pour draguer de côté. Il suffit de fixer l'élinde à l'extrémité de sa rotation et de ne produire que le mouvement de translation. L'appareil fonctionne alors en rabot.

M. Badois fait remarquer que dans le cas où l'on aurait à faire un travail semblable de quelque importance, on aurait avantage à construire un appareil plus simple par la suppression du mouvement de giration. Cela permettrait en outre de monter sur un même châssis deux ou plusieurs élindes et d'effectuer des passes plus profondes.

A une demande qui lui est adressée par M. le président, il répond que cet appareil est construit, qu'il a fonctionné déjà plusieurs fois et effectué un cube assez considérable; et que plusieurs membres de la Société ont été témoins de ces essais. Il peut ouvrir une tranchée de 8 à 10 mètres de hauteur et produire 500 à 600 mètres cubes mesurés au remblai en 10 heures.

M. Flachat lit ensuite une étude des questions d'exécution du canal, basée sur l'examen des traités passés entre la Compagnie et ses entrepreneurs.

Prenant pour point de départ que les dispositions préparées par la Compagnie et suivies par les entrepreneurs, auront pour résultat de placer la main-d'œuvre sur le même pied qu'en Europe, quant aux salaires et aux quantités proportionnelles de travail à obtenir des ouvriers; prenant également pour acceptées les données qui ont été présentées au public, sur la nature des terrains à déblayer, il recherche si les prix d'exécution stipulés aux traités laissent la place à d'autres éventualités. La question à examiner lui paraît alors réduite au choix du système d'exécution des travaux et à l'importance du matériel, qui résultera à la fois du système adopté et du délai d'exécution.

Pour simplifier l'examen de cette question, il suppose l'emploi des méthodes connues pour exécuter de semblables travaux, à savoir : pour les déblais à sec, les chemins de fer, les wagons et les locomotives. Pour les déblais sous l'eau, l'emploi des dragues; des bateaux à clapets de vidange par le fond; le touage ou le remorquage pour le transport des déblais à la mer; et en cas de trop grande distance de transport, la reprise de ces déblais sur voies ferrées, wagons et remorquage aux décharges par locomotives.

Se donnant alors le terme d'exécution indiqué aux contrats, il calcule le matériel de déblai et de transport nécessaires d'après le rendement connu de ce matériel, et il conclut que les prix contractés avec les entrepreneurs démontrent que les calculs auxquels il s'est livré ont été faits par les parties, qu'elles ont admis sous ce rapport une part aux exigences de la rapidité d'exécution des travaux.

Il reste donc aux entrepreneurs à rechercher des méthodes plus économiques que les méthodes connues, telles que pour les déblais à sec l'emploi des excavateurs; pour les déblais dans l'eau, les appareils propres à éviter les transports à grande distance. Leur intérêt à cet égard est puissamment stimulé par les avantages qu'ils en peuvent retirer.

Dans tous les cas, et même en cas d'échec de ces tentatives, cette étude semble confirmer la confiance qu'inspire l'application des forces mécaniques à l'achèvement de l'œuvre, cette application fût-elle limitée aux méthodes ordinaires d'exécution.

M. Flachat examine ensuite quelques-unes des questions qui s'attachent à la navigation du canal, telles que les courants à attendre des mouvements de la marée dans la mer Rouge; et la relation entre la section du canal et la dimension des navires appelés à le fréquenter pour les communications rapides entre l'Europe et l'extrême Orient.

Sur la première de ces deux questions, tout en concluant qu'un courant incompatible avec une navigation régulière ne s'établira pas entre les lacs Amers et la Mer Rouge, il propose de partir, dans l'étude de cette question, d'autres éléments que calculs que ceux qui ont été présentés.

Sur la seconde, celle du rapport entre la section du canal et les dimensions des navires appelés à le fréquenter, il conclut que les dispositions, que les traités avec les entrepreneurs semblent prévoir et qui auraient pour but de réserver à l'avenir la possibilité d'accroître la section du canal, sont une bonne et utile garantie pour la complète solution de cette question.

Séance du 18 Novembre 1864.

Présidence de M. Petiet.

A la suite de la lecture du procès-verbal de la précédente séance, M. le Président demande à M. Tresca s'il pourrait donner quelques indications sur le fonctionnement de la machine de M. Frey.

M. Tresca rend compte, en quelques mots, d'une expérience faite dans les terres de la butte Chaumont, avec la drague à vapeur de MM. Sayn et Frey.

Cette expérience, trop courte pour être décisive, semble promettre de bons résultats.

L'inclinaison donnée à l'élinde et le mode d'attaque du sol par dessous sont très-favorables au travail; il se produit des ébranlements successifs de terrain, qui désagrégent la masse et permettent de l'enlever facilement par parties.

M. Tresca fait remarquer que, grâce à l'emploi de rouleaux très-larges, la machine peut avancer d'elle-même, et que par le mouvement de rotation autour d'un axe vertical la machine est susceptible d'exécuter immédiatement les talus d'une route.

Enfin, l'emploi d'un tablier mobile qui pourrait avoir jusqu'à 25 mèt. de longueur et qui est formé d'augets successifs juxta-posés, portés par une chaîne glissant sur deux guides horizontaux, permet de déposer les terres en cavaliers sur le bord de la fouille.

Toutes les dispositions d'ensemble sont très-satisfaisantes; on peut seulement reprocher à la machine quelques défauts dans les détails; par exemple la charpente de l'élinde, qui n'est peut-être pas assez robuste, non plus que les maillons de la chaîne qui porte les augets de la drague.

La machine à vapeur, qui fait mouvoir la drague proprement dite, qui agit sur les rouleaux pour faire avancer l'ensemble du système, qui commande le mouvement de rotation de la drague autour de l'axe vertical, et donne le mouvement au tablier horizontal, est à grande vitesse; il conviendrait peut-être d'avoir une machine moins rapide et n'exigeant pas l'emploi de transmissions de mouvement destinées à donner à chacun des organes la vitesse relativement faible qui leur convient.

M. Tresca, en terminant, pense devoir appeler l'attention sur l'emploi de courroies pour obtenir la transmission de mouvement, emploi qu'il croit très-convenable pour le but à atteindre, parce que dans le cas où la machine rencontre un obstacle trop difficile à surmonter, la courroie glisse sur les poulies sans produire de ruptures.

M. Petiet fait observer qu'il doit y avoir tendance au renversement de la machine lorsqu'elle rencontre des pierres.

M. Tresca. L'expérience a prouvé que la machine était capable de démolir les fondations d'un mur en moellons d'échantillons moyens.

M. Tresca explique ce fait parce que la machine attaque le terrain de bas en haut, et en ébranle d'avance toutes les couches, ce qui facilite leur désagrégation complète au moment où l'attaque directe a lieu; la vitesse de la drague est d'environ 18^{m} par minute, correspondant à l'attaque successive de 30 augets.

M. J. Gaudry donne communication d'une note au sujet d'une visite qu'il a faite à bord du *Lafayette*, l'un des nouveaux steamers transatlantiques du Havre à New-York.

Après un historique de la navigation à vapeur entre les deux mondes, M. Gaudry décrit la coque et la machine du *Lafayette*, qui a été construit par M. Scott, à Grenvock, sur les plans de MM. Forquenot et Lissignol. Le *Lafayette* est un type intermédiaire entre les steamers à formes élancées de Cunard, tels que la *Persia*, et le *Shannon* de la Compagnie péninsulaire, se rapprochant toutefois plus de celui-ci par ses formes droites et ses installations avec pont supérieur dit spar-deck complet. Les dimensions principales du *Lafayette* sont 105^{m},60 de longueur, 13,36 hors membres, et 9,80 de creux. Le tirant d'eau en charge est 5^{m},74, avec un déplacement correspondant de 4,872 ton. et 68 mètres carrés de section résistante.

La machine appartient au type dit de Watt à balanciers latéraux, comme dans les plus récents navires à roues de Cunard et de la Compagnie péninsulaire; les balanciers sont à double flasque, en fer, et découpés dans des tables longues de 8 mètres, larges de 2 mètres, et épaisses de 0,065. Elles ont été fabriquées en France aux forges de Pétin et Gaudet. La machine a la force nominale de 950 chevaux, les cylindres ont 2^{m},40 de diamètre et 2^{m},65 de course. Les roues ont 11 mètres de diamètre, elles portent 28 aubes fixes de 3^{m},40 sur 0,60. La machine a 0^{m},58 en longueur et 0^{m},88 en largeur de plus seulement que la machine de 450 chevaux des frégates *Uloa*, *Darien* et autres.

Les essais officiels du *Lafayette* ont donné les résultats suivants sous vapeur seule et sans voiles :

Tirant d'eau.	5^{m},74
Section immergée du couple.	63^{mq},80
Introduction de vapeur.	de 0,55 à 0,75

Pression au manomètre en cent. de mercure.	120 cent.
Vide au condenseur —	65 —
Nombre de tours par minute..	16,80
État de la mer.	Belle.
État du vent.	Petite brise NO.
Vitesse du navire..	13,74 nœuds.
Force développée sur les pistons en chevaux de 75 kil. (à l'indicateur).	3296 chev.
Consommation de combustible par heure.	4,836 kil.
Soit, par cheval effectif..	1k,47

Après avoir fait observer que le *Lafayette* n'est qu'un des navires d'hiver classés en second ordre pour la vitesse et le tonnage dans le matériel de la Compagnie, M. Gaudry recherche quels sont les résultats comparatifs d'une machine marine avec les autres machines à vapeur, notamment avec la locomotive; et il ne lui semble pas que la machine marine ait l'infériorité dont l'accuse un préjugé trop commun. Se bornant à la comparaison avec les locomotives, M. Gaudry constate d'abord de singulières analogies entre les conditions d'être des deux moteurs. Comme dans la locomotion, la machine marine doit avoir son poids réparti sur une surface donnée; la solidarité doit exister entre le mécanisme et la chaudière; les actions perturbatrices, les conditions d'équilibre, de stabilité, de répartition symétrique des poids, d'abaissement du centre de gravité sont les mêmes de part et d'autre. Les sérieuses différences se bornent à la continuité du service de la machine marine, à la violence formidable des contre-coups qu'elle ressent dans les gros temps, à la chaleur intense qui est rayonnée dans la chambre du moteur, et surtout à l'emploi de l'eau salée, qui rend dangereuses les chaudières à évaporation rapide et à haute pression.

Ceci posé, il est intéressant de comparer une grande machine marine comme celle du *Lafayette* avec une locomotive; l'Engerth peut être choisie pour point de comparaison; car sa vitesse de 25 kilom. à l'heure est précisément celle du *Lafayette*, et de plus c'est une très-puissante machine à vapeur, dont la force effective peut être évaluée à 564 chevaux d'après les éléments d'appréciation connus.

Quant à la force effective de 3,296 chevaux qui a été relevée à l'indicateur sur les pistons du *Lafayette*, il faut évidemment en déduire le travail consommé dans la machine elle-même par les résistances passives et par la perte d'effet utile du propulseur.

D'après divers ingénieurs de la marine consultés par M. Gaudry, la réduction totale se bornerait seulement au quart de la force indiquée sur les pistons, en sorte que le travail utile employé à la propulsion du *Lafayette* dans l'essai précité resterait réduit à 2,472 chevaux. Tel serait le travail effectif à comparer avec les 564 chevaux de la machine Engerth.

M. Gaudry n'entend nullement considérer ces évaluations comme des résultats mathématiques. Ce sont des à peu près, des approximations grossières; mais elles concordent assez avec les résultats dont nous avons le sentiment, pour permettre quelques comparaisons intéressantes faute de données exactes qui se feront peut-être longtemps attendre à cause de la difficulté de les recueillir. M. Gaudry dresse à cet effet entre la locomotive Engerth et la machine marine du *Lafayette* le tableau comparatif suivant :

	ENGERTH.	LAFAYETTE.
Puissance effective en chevaux de 75 k^m.	564^{ch}	2472^{ch}
Charge totale transportée, moteur, coque, wagons compris.	650^{tx}	4872^{tx}
Vitesse à l'heure.	25^k	25^k
Tonne-kilomètre transportée par heure.	$16.250^{t.k}$	$121.800^{t.k}$
Soit par cheval effectif.	$30^{t.k}$	$50^{t.k}$
Combustible brûlé par heure.	500^k	4836^k
Soit par cheval effectif.	$0^k,88$	$1^k,91$
Soit par tonne-kilomètre transportée à l'heure. . . .	$0^k,0307$	$0^k,0397$

Si ces données ne sont pas une évaluation précise de la consommation des machines considérées, on peut cependant en conclure que leurs résultats de service ne s'écartent pas notablement les uns des autres, et que la machine marine ne se classe pas à une grande distance des bonnes machines à vapeur en général, comme on l'a cru quelquefois.

La note de M. Gaudry se termine par un résumé des principales dimensions du *Lafayette* et de ses machines.

M. Tresca dit que le rendement de 75 p. 100, en effet utile, y compris le propulseur que M. Gaudry a supposé, lui semble bien élevé.

M. Gaudry répond que, dans son traité des machines à vapeur, il avait été loin d'admettre un aussi grand rendement de travail utile dans les machines de navigation; mais qu'après conférences avec divers ingénieurs de marine et d'après des expériences telles que celles de M. Colladon, connues de la société, il a cru, dans sa présente communication, devoir revenir sur ses propres évaluations primitives.

M. Tresca croit que M. Gaudry était plus près de la réalité dans ses évaluations premières; il se demande, lorsque les roues enlèvent déjà au moins 20 p. 100 d'effet utile, s'il est possible de croire que les frottements et résistances passives du mécanisme absorbent seulement 5 p. 100 du travail sur les pistons; doit-on d'ailleurs accepter comme concluantes les expériences faites sur le travail utile dépensé à faire progresser un navire? Ces expériences sont peu nombreuses et d'ailleurs d'une extrême difficulté. En outre, elles n'ont guère eu lieu que sur de petits navires.

M. Veret dit qu'il a personnellement pris part aux expériences de M. Colladon, tant sur fleuves que sur mer et sur des bâtiments de grande puissance, quoique n'étant pas des navires de premier ordre. Ces expériences ont été longues, répétées et concluantes. Elles ont prouvé que le rendement utile des 3/4 de la puissance développée sur les pistons, ainsi que l'a supposé M. Gaudry, était un fait normal.

Un Membre ajoute que les expériences de M. Colladon ne sont pas seules, tant en France qu'en Angleterre. Il cite les expérience de M. Bourgois et de M. Taurines, desquelles il est résulté que les grandes machines de navigation ont un rendement de travail utile élevé au delà de toute attente.

M. Gaudry dit que l'élévation considérable du travail utile d'une machine comme celle du *Lafayette* ne lui semble pas devoir surprendre. Il s'agit, en effet, d'une machine de plus de 3,000 chevaux. Or, les 25 p. 100 de puissance perdue ne représentent rien moins que 824 chevaux, et c'est assurément faire la part belle au relèvement de l'eau par les roues, ainsi qu'aux résistances passives d'une machine qui est d'ailleurs

aussi douce et aussi bien équilibrée que celle dite de Watt, à balanciers latéraux, dont la rondeur de marche en tous temps a subi l'épreuve d'un tiers de siècle.

M. Forquenot ajoute que c'est un fait reconnu que les grandes machines ont un rendement utile plus élevé et une consommation relative moindre que les petites machines.

M. Tresca dit que le fait est incontestable, mais on n'a guère jusqu'ici dépassé le rendement utile de 80 p. 100 sur l'arbre moteur, et dans le cas de la machine marine, il reste encore à tenir compte de la perte du travail du propulseur; il émet donc le vœu que les comparaisons très-intéressantes de M. Gaudry soient poursuivies, et que le rendement utile des grands appareils de premier ordre, comme celui du *Lafayette*, soit recherché avec précision.

Un Membre dit que les plus fortes machines, rendant 80 p. 100 d'effet utile, ne dépassaient pas, croit-il, la force de 200 chevaux. Les petites machines de 4 à 5 chevaux n'utilisent guère que la moitié de leur puissance calculée. Si la machine de 200 chevaux est déjà si supérieure en rendement utile relatif, il ne doit pas paraître étonnant qu'une machine de 3,000 chevaux, comme celle du *Lafayette*, ait un rendement bien plus élevé encore.

Un Membre rappelle les expériences citées par M. Campaignac sur des chaudières de diverses forces et essayées dans une identité de circonstances remarquable. De grosses chaudières de 450 chevaux ont consommé au plus 2k,50 par cheval et par heure. La consommation des chaudières beaucoup moindres a égalé à peu près le double.

M. Forquenot ajoute que les résistances passives d'une machine sont loin de croître proportionnellement à sa puissance, et que, si celles d'un petit appareil doivent compter pour une forte part dans son travail total, elles ne deviennent plus qu'une fraction relativement très-faible de ce même travail dans le cas d'une très-puissante machine.

M. Gaudry dit que plusieurs importants organes n'ont pas beaucoup plus de frottement dans une machine de premier ordre que dans une autre moindre, et qu'après tout, les 5 p. 100 des résistances passives du *Lafayette* représenteraient encore environ 150 chevaux.

M. Ermel, tout en reconnaissant l'intérêt de la comparaison de M. Gaudry, dans la portée qu'il lui donne, proteste contre l'assimilation qu'on voudrait en faire avec les résultats qu'on obtient aujourd'hui des machines fixes d'usine. Nulle autre part, suivant lui, on n'a pu, à égalité de circonstance, abaisser autant le chiffre de consommation. Cela doit être, car on a généralement toute facilité pour placer les machines fixes dans leurs meilleures conditions, et il serait décourageant de penser que les locomotives et les machines marines, qui fonctionnent dans des conditions bien plus difficiles, sont aussi bien partagées au point de vue économique.

Un Membre fait observer qu'il n'y a pas lieu de regarder comme bien favorable la consommation d'une machine marine qu'on évalue à près de 2 kilogrammes par cheval, et que les machines fixes de manufacture dépensent souvent moins de 1k,20.

M. Gaudry répond que d'abord il a évité de comparer la machine marine, appareil de transport, avec la machine fixe d'usine; qu'il sait parfaitement à quelle faible consommation se sont abaissées celles-ci entre les mains de certains ingénieurs. Il a eu l'occasion récente d'étudier des machines fixes de MM. Thomas et Laurens et celles de

M. Farcot à la glacerie de Montlucon. Il s'est facilement convaincu de l'excellence des unes et des autres et de leur très-faible consommation, même avec des combustibles d'inférieure qualité.

Quant à la machine marine, si l'on pense à ses difficiles conditions de service, à la basse pression, à la faible détente, à la mauvaise nature des eaux, à la continuité si longue d'une marche tourmentée, etc., on reconnaîtra que c'est déjà un beau résultat de la classer à côté de beaucoup de machines fixes d'usine, qui ne sont pas réputées mauvaises sans réaliser les belles économies de MM. Farcot, Thomas et quelques autres.

M. Petiet dit que les nombres donnés par M. Gaudry sont loin d'être contraires aux faits de la pratique, puisque les Engerth, du moins au chemin du Nord, consomment moins de 20 kilogr. de houille par kilomètre, ainsi que le suppose la note de M. Gaudry. Au reste, cette faible consommation relative des locomotives peut s'expliquer en partie par les arrêts périodiques et fréquents pendant lesquels la vapeur ne se dépense pas. En outre, s'il y a les rampes à gravir où le travail est énorme ainsi que la dépense, il y a aussi les pentes à descendre où l'un et l'autre sont très-réduits. Au contraire, les machines fixes et marines ont un travail continu qui se maintient souvent au maximum.

M. Gaudry ajoute que pour les machines marines il ne faut pas seulement dire au *maximum*; c'est un travail *à outrance*, se comptant par milliers de chevaux, qu'on produit, quand on lutte de vitesse, quand l'immersion du navire est exagérée par voie d'eau ou excès de charge, quand la coque est encrassée, quand la mer est mauvaise, etc. Il est vrai qu'alors on dépense beaucoup plus de 2 kilogr. par force de cheval. Mais dans les sages conditions d'un service courant il paraît acquis que la machine marine reste digne d'être comparée au commun des bonnes machines à vapeur de toute autre industrie.

M. Tardieu demande si la faible consommation indiquée par M. Gaudry ne tiendrait pas à la puissance énorme des machines marines comparée à celle des machines fixes, même les plus puissantes.

M. Ivan Flachat demande si une partie de l'économie signalée par M. Gaudry ne tient pas à ce que sur les bateaux et sur les locomotives on n'emploie que des charbons de premier choix, tandis que pour les machines fixes on se contente de celui qui peut être obtenu au meilleur marché possible.

M. Forquenot ne pense pas qu'on puisse comparer des installations très-différentes, l'économie résulte surtout de l'installation de la chaudière et l'emploi de la chaudière tubulaire lui semble devoir être une cause d'économie considérable.

M. Farcot croit, comme d'autres membres l'ont dit, que les chiffres de consommation comparée que M. Gaudry vient de donner sont inexacts, par le fait de quelque erreur dans les déductions.

En effet, ces conclusions sont en contradiction évidente avec les faits de l'expérience universelle constatés depuis trente ou quarante ans. Les machines de marine ne sont autre chose, pour ce qui concerne l'emploi de la vapeur, que des machines de Watt, à basse pression, détente presque nulle et, de plus, dépouillées de l'enveloppe de Watt. Or, ce genre de machines n'a jamais dépensé moins de 5 kilogr. de houille par cheval et par heure. C'est un fait généralement constaté et dont la disparition des machines de Watt est la preuve incontestable. Comment donc ces machines appliquées à la marine pourraient-elles être plus économiques que les machines fixes

actuelles qui les ont remplacées partout dans les usines? La grande puissance des machines de navigation ne peut seule expliquer une telle anomalie.

La même réflexion doit s'appliquer à ce qui a été dit des locomotives qui sont des machines sans condensation à faible détente et qui certainement dépenseraient moins si elles étaient à condensation et à plus grande détente.

Il lui semble que la cause de l'erreur est que M. Gaudry évalue la consommation d'après le travail total et moyen d'une traversée ou d'un voyage, et prend en même temps pour chiffre du travail correspondant celui de la résistance *maxima*, ce qui n'est pas admissible.

Quant à la consommation des machines fixes, elle descend bien au-dessous du chiffre de 2 kilogr. cité tout à l'heure. Les dernières machines élévatrices construites dans leurs ateliers et établies quai d'Austerlitz, pour le service de la ville de Paris, donnent par heure et *par cheval utile mesuré en eau levée* une consommation constatée chaque jour sur un tableau officiel affiché dans la salle, qui varie de 1.13 à 1.06, 1.00 et descend même au-dessous de 1 kil.

Le rendement d'effet utile constaté au frein sur d'autres de nos machines élévatoires pouvant être évalué à 0,80 ou 0,85, la consommation par cheval disponible pour usines, sur l'arbre du volant, serait donc, dans ces machines, de 0k,800 environ avec du charbon ordinaire tout-venant du commerce.

M. Farcot croit devoir faire aussi une observation au sujet des essais au frein cités tout à l'heure, que l'on aurait faits autrefois sur des machines de bateaux, et il a peine à croire à leur exactitude; car chaque fois qu'il a voulu expérimenter au frein de Prony des machines qui, en raison de circonstances spéciales, avaient des volants très-faibles, il n'a rien pu constater d'une manière certaine, à cause de l'irrégularité de la rotation; en effet, la première condition à remplir, pour une expérience au frein, est le mouvement continu et uniforme de rotation. Or, dans une machine de bateau qui n'a pas de volant, essayée sans mouvement du bateau, cette condition n'est pas remplie.

M. Gaudry répond qu'il a tout lieu de croire exacts et sincères les résultats d'expériences qui lui ont été fournis et qu'il a pris pour base de ses déductions. Il ajoute qu'il s'était déjà livré à une étude semblable au sujet de diverses locomotives et navires, arrivant toujours au même résultat, lequel n'étonnera, croit-il, aucun ingénieur de marine.

M. Dallot dit qu'en indiquant la puissance exceptionnelle des machines marines comme le motif de leur faible consommation, on avoue par cela même leur infériorité théorique par rapport aux machines de terre; il y a donc opportunité à chercher à perfectionner les machines de navigation.

M. Petiet remercie M. Gaudry de son intéressante communication et donne la parole à M. Brull, l'un des secrétaires, pour lire une notice rédigée par M. Flachat, sur le *Traité complet de métallurgie*, par le docteur J. Percy, traduit par MM. Petitgand (membre de la Société) et Ronna.

M. Flachat n'a pas la prétention de rendre compte, même en résumé, du volume par lequel MM. Petitgand et Ronna commencent l'importante entreprise d'une traduction de l'ouvrage du docteur Percy, en la complétant par leurs propres travaux.

Ce premier volume est en lui-même, et avec l'introduction, une histoire générale qui appartient aux traducteurs et un traité complet des combustibles et des matières réfractaires, dans lequel les notes et appendices ajoutés par les traducteurs entrent

pour une part essentielle. Le traité du docteur Percy, qui s'adresse au savant, à l'ingénieur, et surtout au fabricant, parce qu'il expose avec une grande clarté les procédés qui se sont succédés et ceux qui sont en usage aujourd'hui, est la seule publication qui réflète l'application des progrès scientifiques de la docimasie, de la physique et de la chimie dans la fabrication. Ces progrès sont de ce siècle, et ceux qui savent combien, dans le choix des procédés, les erreurs sont fatales, combien les fautes les plus légères sont dispendieuses et combien les essais sont lents et difficiles, accueilleront, comme étant d'une opportunité incontestable, ce livre, qui traite, avec tous les développements nécessaires, les questions actuelles de chimie, des métaux ou des minerais, et les règles scientifiques qui expliquent la réussite des méthodes actuellement pratiquées. Cette publication sera donc bien venue; mais il importait qu'elle fût confiée à des ingénieurs spéciaux comme science de fabrication et de laboratoire. Elle devait recevoir aussi le complément nécessaire pour se recommander à nos directeurs d'usine et à nos ingénieurs, car nous aimons qu'on écrive pour nous de ce qui nous intéresse et doit nous servir.

Bon gré, mal gré, les procédés anglais sont ceux qu'il a fallu suivre, pour le fer, par exemple ; nous nous refusions à croire qu'ils fussent guidés par la science; l'ouvrage du docteur Percy est la preuve manifeste de cette erreur.

L'introduction historique de MM. Petitgand et Ronna, qui a le mérite de présenter les diverses révolutions qu'a subies la fabrication des métaux, est féconde en enseignements. L'histoire du fer en particulier est celle des développements de notre civilisation, qu'il faut savoir; cet essai, qui est suivi de l'histoire des combustibles dont l'emploi est intimement lié aux procédés métallurgiques, de celle des métaux autres que le fer; le cuivre, le plomb, l'étain et le zinc, etc., se termine par des considérations du plus haut intérêt sur le régime économique de la production métallurgique. C'est là un très-beau travail qui a exigé des études et des recherches dont on doit tenir d'autant plus compte aux traducteurs qu'ils ont su écarter les détails inutiles, se bornant aux faits qui intéressent le fabricant et l'économiste.

Le traité lui-même est précédé par la description sommaire des propriétés physiques des métaux et des procédés généraux; réduction par le carbone, grillage, etc.,etc.; par l'étude des scories et des divers silicates. La méthode d'exposition, toute concise qu'elle est, devient déjà d'une parfaite clarté, et la conscience avec laquelle sont cités les expérimentateurs est un des mérites les plus sérieux de cette étude; il inspire la plus grande confiance dans les conclusions de l'auteur. Des combustibles : bois, tourbe, lignite et houille, sont ensuite traités avec toute l'étendue désirable; le coke surtout est étudié avec le détail que comporte son importance dans la métallurgie moderne. Les gaz combustibles viennent ensuite, et l'étude des matières réfractaires naturelles servant à la confection des creusets, des cornues, des briques pour les fours, etc., termine le volume du docteur Percy. Cette dernière partie des procédés a fait de tels progrès, qu'il faut savoir gré à l'auteur d'y avoir attaché beaucoup d'importance.

Bien que traités avec l'étendue que comportait le sujet en Angleterre, les procédés d'extraction de la tourbe, d'épurations des charbons, les fours à coke, les fours Siemens et les produits réfractaires n'avaient pas été complétement décrits en vue de l'industrie française. Les appareils varient, en pareil cas, comme la nature du combustible ou des matériaux. MM. Petitgand et Ronna l'ont bien compris, et leur appendice, pour lequel ils ont mis à contribution leurs connaissances, les méthodes suivies en France, en Belgique et en Allemagne, est un complément indispensable assimilant

entièrement l'œuvre anglaise à nos circonstances locales. Il en ressort un tout complet d'une utilité immédiate et incontestable, et on ne peut que remercier auteur et traducteurs du soin avec lequel leur entreprise est commencée.

Ont été nommés membres sociétaires MM. Donzelle, L'Homme et Moysan, et comme membres associés les Présidents des Compagnies des chemins de fer du Nord, de l'Est et d'Orléans.

Séance du 2 Décembre 1864.

Présidence de M. PETIET.

M. Flachat a envoyé au sujet de la communication de M. Gaudry, insérée au procès-verbal de la dernière séance, une lettre dont M. le Président donne lecture.

« Je viens de lire, dans le procès-verbal de la séance du 18 novembre, la discussion à laquelle ont donné lieu les machines de navigation marine. Les chiffres produits par M. Gaudry, sur la consommation des machines marines, ont été contestés; cependant ils sont exacts, en ce sens que la consommation de combustible, rapportée à l'expression dynamique de la pression sur le piston, est bien ce qu'il a indiqué. La contradiction ou plutôt le doute sont venus de ce que M. Gaudry a appliqué mesure du cheval de Watt (75 kilogrammètres par seconde), à *l'expression* dynamique *indiquée dans les cylindres par les diagrammes qu'on recueille pendant la marche*.

« Dans les machines fixes, cette expression dynamique se mesure sur l'arbre de machine; dans les locomotives sur le dynamomètre, et elle indique, dans les deux cas, la force disponible pour l'usage auquel la machine est destinée, c'est-à-dire qui indique l'utilisation de la vapeur, déduction faite du travail absorbé par les frottements et par l'inertie des pièces en mouvement du moteur.

« Il en est tout autrement dans les machines marines, puisque l'utilisation de la vapeur mesurée dans les cylindres n'est transmise à l'arbre des roues ou de l'hélice que déduction faite des pertes de travail ci-dessus.

« La comparaison entre les deux genres de machines ne serait donc possible qu'autant que la machine marine serait essayée au frein sur son arbre comme la machine fixe. Or, cet essai est à peu près impossible à cause de l'énorme puissance de ces appareils.

« C'est parce qu'il n'y a pas une relation assez certaine entre l'expression du travail de la vapeur dans les cylindres et le travail disponible sur l'arbre moteur, que le cheval de Watt a été généralement abandonné comme mesure de la puissance des machines marines, et qu'on a adopté 100, 200, 300, et même 400 kilogrammètres de travail mesuré dans les cylindres, comme expression de la puissance nominale des machines marines. Cette expression, très-vague, d'ailleurs, va tous les jours en croissant, suivant les constructeurs et les applications aux navires à roues ou à hélice.

« La vraie mesure de cette puissance nominale doit être, pour les ingénieurs, la

face de chauffe d'abord. Or, cette surface était, à l'origine, pour les grands appareils par force de cheval marin :

	Chevaux.	m^2	Pression.	
Appareils de				
	450	0,93	4^k,05	CAMPAIGNAC, marine militaire française.
—	900	1,40	1 ,05	TRESCA, marine militaire française.

Elle est maintenant :

Appareils de				
	600 à 1000	1,67	1, 10	Marine militaire anglaise.
—	850	1,65	1 ,90	FORQUENOT. — *Antilles*. paquebots français transatlantiques.
—	1000	1,80	1 ,90	FORQUENOT. — *New-York*, paquebot français transatlantique.
—	820	2,04	1 ,14	*Atrato*, *Laplata* (*Seine*), paquebots anglais transatlantiques.
—	1000	2,30	1 ,40	*Scotia* et *Persia* (Cunard), paquebots anglais transatlantiques.

« L'autre base de la puissance nominale est le volume d'emploi donné à la vapeur dans les cylindres ; il varie entre 14 et 16 décimètres cubes par seconde et par cheval nominal.

« Si donc on veut comparer les machines marines avec les machines fixes et les locomotives, on n'aura d'autre base rationnelle de comparaison que la production de vapeur par leur générateur.

« Il résulte de l'expérience que la production de 27 kilog. par mètre carré de surface de chauffe qui peut être acceptée pour les chaudières tubulaires à combustion active des machines locomotives ne peut s'appliquer aux chaudières des machines marines où le tirage est plus faible et la combustion plus lente : elle varie entre 13 et 20 kilogrammes. Cette production, rapportée au *cheval marin* le plus généralement adopté dans le commerce, conduit à un emploi de vapeur de 26 à 40 kilog. par heure, tandis que, dans les machines fixes, à condensation et à cinq atmosphères, système Farcot, le cheval de Watt est produit avec 10 à 12 kilog. de vapeur et 1^m,25 de surface de chauffe de chaudière à combustion lente.

« D'après ses marchés avec les constructeurs, la marine impériale prend pour mesure du cheval marin une expression numérique de 200 kilogrammètres dans les cylindres ; mais cela est toujours dépassé, car, en supposant la pression maintenue dans les chaudières, le travail correspondant à la force nominale varie souvent aux essais du navire entre 300 et 450 kilogrammètres par cheval nominal.

« En résumé, la comparaison entre le cheval de Watt et le cheval marin n'est pas possible sur la base dynamométrique prise dans les cylindres par les diagrammes.

« Cette mesure est même absolument irrationnelle, car il peut arriver que par l'échauffement du tourillon de l'arbre moteur, ou le brouttement d'un piston qui ralentirait la marche de la machine, le travail de la vapeur dans le cylindre soit singulièrement augmenté, quand le travail disponible sur l'arbre moteur aurait sen-

siblement diminué. Le frein est l'instrument de mesure par excellence, et donne, seul, pour les machines fixes, la mesure du travail disponible.

« Ce qui est exact, c'est que, par suite de l'élévation du coefficient d'utilisation qui est la conséquence connue de l'augmentation de la puissance des appareils, la consommation de combustible paraît très-faible dans la machine marine, mesurée sur le travail dynamique de la vapeur dans les cylindres; et ce qui est inexact, c'est de prendre cela comme terme de comparaison avec les machines fixes; car il est bien reconnu qu'en ce qui concerne l'emploi de la vapeur, les machines marines ne peuvent lutter avec les machines fixes. Le sel oblige à des pertes de température par l'extraction d'une partie de l'eau des chaudières; il y a entraînement d'eau par suite du faible volume du réservoir de vapeur : enfin l'eau condensée sur les parois est considérable parce qu'il n'y a pas de chemise à ces vastes cylindres. Cela est d'autant plus nuisible que la détente est généralement appliquée sur une échelle d'autant plus grande que les chaudières peuvent à peine remplir la moitié des cylindres en conservant la pression. C'est surtout dans ces conditions d'emploi de la détente que le refroidissement des parois cause de plus grandes pertes de travail.

« L'adoption des surchauffeurs et des condenseurs à surface, qui se répand chaque jour, améliore la machine marine, mais on peut considérer qu'elle n'a fait de progrès depuis bien des années, que comme mécanisme, et non comme utilisation de vapeur. »

M. Tresca ne voit pas quelles erreurs on pourrait commettre en comparant la puissance de toutes les machines par l'évaluation en chevaux. — En rapportant la puissance des machines au cheval indiqué, nullement hypothétique puisque c'est celui donné par l'indicateur de Watt, qu'on peut appliquer aussi bien aux machines de terre qu'aux machines-marines pour lesquelles il est même d'un constant usage. — On peut donc avoir dans tous les cas le même élément de mesure.

Le cheval nominal n'a rien à faire dans les expériences, on s'en sert seulement dans les marchés. — Il n'est cependant pas aussi arbitraire qu'on le croirait puisqu'il se *déduit* des conditions de fonctionnement de l'ancienne machine de Watt. — Une machine étant donnée si, eu égard à ses dimensions et à la vitesse de son piston, on la supposait placée dans les mêmes conditions de vitesse, de pression et de détente que l'ancienne machine de Watt, on aurait dans tous les cas l'évaluation de ce que l'on appelle généralement le cheval nominal de 75 kilogrammètres, qui correspond en général à 200 kilogrammètres dans les conditions actuelles.

La comparaison par les quantités de vapeur produites peut donner beaucoup plus d'erreurs. — Les marins sont arrivés à estimer la vaporisation produite par 1 kil. houille d'une manière très-indirecte. — Tous leurs résultats sont obtenus en pesant le charbon, en mettant un indicateur sur le cylindre, et, d'après les données de la courbe, on évalue la quantité théorique de vapeur introduite dont le poids est donné par la pression à l'introduction. — Dans les machines de terre, au contraire, on pèse le charbon brûlé, on pèse de même l'eau introduite dans la chaudière, on évalue dans tous cas, d'une manière certaine, la quantité de vapeur produite.

Les machines à vapeur peuvent, en général, être expérimentées à la fois au frein et à l'indicateur, on peut ainsi comparer la puissance indiquée et la force utilisable. Il n'en est pas de même dans les machines marines qu'on ne peut expérimenter au frein.

Ainsi la quantité de vapeur produite, et la force disponible sur l'arbre de la machine ne peuvent être évaluées exactement sur les machines marines; il faut donc

quantité de combustible brûlé et la puissance indiquée; mais alors les éléments de mesures étant les mêmes dans tous les cas la comparaison est parfaitement exacte.

M. Ivan Flachat donne lecture d'une lettre de M. M. Forey, du 15 octobre 1864, sur l'*utilisation des scories de forges*, cette lettre ayant été motivée par la lecture des observations présentées dans la séance du 2 septembre dernier, sur le procédé de MM. Minary et Soudry.

M. Ivan Flachat rappelle d'abord que ce procédé consiste dans le mélange de la scorie avec la houille pour la fabrication du coke, et dans l'introduction de ce *coke-scorie* dans les hauts fourneaux. A ce sujet, M. M. Forey écrit en ces termes :

« Je viens d'avoir connaissance de la communication de M. Callon sur l'emploi du coke de scories de MM. Minary et Soudry. Comme je me suis beaucoup occupé de l'utilisation des scories dans les hauts fourneaux, les renseignements que je vous donne ci-après pourraient intéresser la Société. Je vous donne tous pouvoirs de les lui communiquer, si vous le jugez à propos.

« L'emploi des scories crues dans les hauts fourneaux n'est pas aussi difficile qu'on le pense généralement. Une forge qui produit toute la fonte qu'elle transforme en fer, ne fait pas assez de scories pour qu'elle ne puisse les passer dans ses fourneaux sans en changer l'allure, si elle sait composer son lit de fusion convenablement.

« C'est à tort qu'on accuse les scories de mettre du silicium dans la fonte. Le lit de fusion d'un fourneau contient toujours plus de silicium que la fonte ne peut en prendre.

« J'ai préparé de la fonte avec des *scories seules* et de la castine, qui ne renfermait pas plus de silicium que la fonte ordinaire de même couleur. — Je dis de même couleur, car j'ai constaté que la teneur en silicium des fontes dépend de leur couleur: plus elles sont noires, plus elles sont siliceuses; plus elles sont blanches, moins elles sont siliceuses. C'est le contraire pour le soufre. — Il est bien entendu que mes études n'ont porté que sur la fonte au coke.

« On a fait une bien mauvaise réputation au silicium; je crois qu'il ne la mérite pas. D'abord, il semble par sa présence expulser le soufre, car j'ai toujours trouvé que la fonte au coke contenait d'autant moins de soufre qu'elle était plus riche en silicium.

« Je soupçonne que la présence du silicium est indispensable dans les fontes destinées à être traitées par l'appareil Bessemer. C'est à lui qu'on doit probablement l'élévation de température qui se produit dans le début de l'opération. En effet, les fontes blanches ou truitées qui sont peu siliceuses ont été jusqu'à présent intraitables dans l'appareil Bessemer : *Elles manquent de chaleur;* il faut des fontes noires, par conséquent très-siliceuses. Tous les métallurgistes savent que, sans la silice dans les laitiers, on ne peut faire marcher un fourneau.

« Le grand obstacle à l'emploi des scories est leur richesse en phosphore; tant qu'on n'aura pas trouvé le moyen de faire passer dans les laitiers des fourneaux le phosphore des minerais, l'utilisation de la scorie au delà de certaines proportions, sera impossible pour les usines qui tiennent à fabriquer du bon fer marchand.

« Le procédé de MM. Minary et Soudry n'enlève pas le phosphore de la scorie comme ils le prétendent; je me suis procuré de la scorie et du coke préparé avec cette scorie; j'ai analysé l'un et l'autre, et je n'ai pas trouvé de différence, quant à leur teneur en phosphore.

« Pour faire l'analyse du coke, il est indispensable de l'incinérer, et de traiter ensuite un poids de cendres, augmenté de la quantité de cendres contenues dans le coke sans scorie. Ainsi, j'ai opéré sur 10 grammes de scories et sur 11 grammes de cendres; j'ai supposé que le coke sans addition de la scorie aurait renfermé 10 p. 100 de cendres.

« En résumé, je ne crois pas que le coke-scorie soit appelé à rendre de grands services. »

M. IVAN FLACHAT ajoute que l'opinion de M. Forey est d'autant plus intéressante à connaître, que les hautsf ourneaux qu'il dirige donnent des produits remarquables, et que de leurs creusets sont sorties les premières fontes françaises qui aient réussi à être traitées dans l'appareil Bessemer.

M. LIMET regrette que la lettre de M. M. Forey ne contienne pas de détails sur la méthode à employer pour la fabrication de la fonte destinée au procédé Bessemer.

M. IVAN FLACHAT répond que cette fabrication dépend beaucoup du tour de main; que des indications à ce sujet seraient bien difficiles à préciser, et probablement bien inutiles, puisqu'on voit fréquemment deux usines voisines, disposant des mêmes éléments, donner des résultats entièrement disparates.

UN MEMBRE appuie l'opinion de M. M. Forey. Il sait qu'avec des lits de fusion convenablement préparés on est arrivé à consommer, dans les charges, jusqu'à 30 0/0 de scories, tout en produisant des fontes blanches ou grises, de qualité convenable. La forte teneur en phosphore de certaines scories de puddlage est, comme M. Forey le fait remarquer, le principal obstacle à leur emploi en très-forte proportion dans les charges. Il n'est pas démontré que la calcination au contact de la houille enlève du phosphore. Les analyses citées par M. Forey combattent cette opinion. Le silicate tribasique de fer qui constitue la scorie n'ayant pu être complétement réduit par le charbon, il reste toujours un silicate dans le *coke-scorie*. Le procédé dont il est question a été essayé, pour la première fois par les inventeurs, il y a trois ans au moins, il ne paraît pas avoir pris pied jusqu'à présent dans la pratique.

Ce membre est aussi de l'avis de M. Forey, quant à la présence du silicium dans la fonte. Cette présence est souvent recherchée, puisqu'en Westphalie les fabricants d'acier Bessemer réclament, de leurs fournisseurs, une teneur de 2 0/0 environ de silicium dans la fonte.

M. LE PRÉSIDENT demande si l'emploi des scories n'altère pas la qualité des fontes.

M. IVAN FLACHAT dit que l'emploi des scories, en ajoutant du silicium dans le lit de fusion, n'introduit pas un élément nuisible, puisqu'il faut nécessairement que la silice fasse partie du lit de fusion. Dans certains hauts fourneaux, où se consomment des minerais à gangue argileuse ou calcaire, on ajoute du quarz pur ou *erbue*; dans ces conditions pareilles, on a tout avantage à remplacer de la silice pure par un silicate de fer, apportant aux laitiers l'élément ferrugineux qu'ils emprunteraient en pure perte aux minerais. Le phosphore seul établit la limite à laquelle on doit s'arrêter, pour ne pas altérer la qualité des fontes. Encore, le phosphore donnant aux fontes plus de fluidité, certaines mouleries se trouvent très-bien de son emploi.

En résumé, les scories s'utilisent facilement, sans changer l'allure des hauts fourneaux, quand elles ne dépassent pas la proportion que fournit l'affinage d'une quantité de fonte égale à celle dans laquelle elles doivent entrer. Il n'est besoin, pour cela, d'aucune précaution de la nature de celle indiquée par MM. Minary et Soudry, et la fabrication du *coke-scorie* occasionnerait une main-d'œuvre et une dépense complétement inutiles.

M. le Président remercie M. Ivan Flachat de sa communication.

M. Tardieu met sous les yeux de la Société un petit niveau de poche permettant de vérifier le devers transversal qu'on doit donner aux voies en courbe.

Cet instrument n'est pas destiné à remplacer les niveaux avec fil à plomb ou les instruments du même genre habituellement remis aux poseurs dans ce but. C'est seulement un moyen de contrôle et de vérification destiné à l'ingénieur ou au chef de section. L'appareil se compose de deux parties : la première est une mire lectrice affectant la forme d'une règle divisée de 20 centimètres de longueur, on la pose sur le rail le plus bas à l'aide d'un pied à charnière dont elle est munie et elle peut ainsi se tenir d'elle-même dans une position sensiblement verticale.

La seconde partie est le niveau proprement dit que l'on place sur le rail le plus élevé. Ce niveau comprend une lunette achromatique à l'aide de laquelle on regarde les divisions de la mire lectrice, et un niveau à bulle d'air qui permet d'amener dans une position horizontale l'axe de la lunette.

Les rayons lumineux venant de la mire lectrice traversent l'objectif de la lunette et viennent se réfléchir sur la face inclinée à 45 degrés d'un prisme en flint-glass et sont renvoyés verticalement de bas en haut. Les dispositions de l'instrument sont telles, que l'image de la mire lectrice vient se produire sur la face horizontale du prisme.

Sur cette face est disposé un fil d'araignée qui, lorsque les deux rails sont au même niveau, correspond au zéro de la mire lectrice. Un oculaire formé de deux lentilles convexes permet de voir à la fois et le fil d'araignée et l'image de la mire lectrice.

Le niveau reposant sur le rail par trois point seulement, il est facile en le déplaçant transversalement sur la surface convexe du rail de faire varier l'inclinaison de l'axe de la lunette jusqu'à ce que le niveau indique que cette lunette est horizontale. Quand cela est on voit, en regardant par l'oculaire, le fil d'araignée se dessiner sur la mire lectrice et indiquer directement la différence de niveau des deux rails.

Le volume total du niveau proprement dit n'excède pas 60 centimètres cubes y compris l'étui qui le renferme. L'instrument est ainsi rendu extrêmement portatif.

Ce petit appareil a été étudié et construit dans les ateliers de M. Froment. Il permet d'opérer très-rapidement et surtout sans aucun aide, ce qui était le but principal.

M. Faliès conteste l'utilité pratique de ce niveau ; on trouve, dit-il, dans tous les chantiers des règles et des niveaux à bulle d'air au moyen desquels la vérification du devers de la voie est des plus faciles.

Un Membre a vu faire usage d'un appareil des plus simples composé d'une règle à laquelle est adapté un niveau à bulle d'air au moyen duquel on opère rapidement, et qui donne des indications très-exactes.

M. Nozo indique un niveau composé de deux fioles communiquant avec un tube de caoutchouc. La différence de niveau du liquide contenu dans les deux fioles donne l'indication qu'on cherche.

M. Tardieu pense que le niveau qu'il a décrit est plus commode que ces divers appareils, en ce sens qu'il est très-portatif.

M. Contamin analyse ensuite un mémoire présenté à la Société par M. Armand, l'un de ses membres, sur la construction d'un pont métallique en treillis.

Le mémoire est divisé en deux parties. Dans la première, M. Armand décrit d'une manière générale la ligne de chemin de fer sur laquelle ce pont est établi. Cette ligne, de 70 kilomètres de longueur, va de Moscou à Jaroslaw. Elle a été construite dans des conditions spécialement avantageuses; en effet, le gouvernement russe a concédé

à la Compagnie une bande de terrain de 80 mètres de largeur sur toute la longueur, et de plus tout le terrain nécessaire à l'emplacement des stations. Le prix de revient, y compris la construction des gares, le matériel fixe et roulant, a été de 280,000 fr. par kilomètre.

Dans la seconde partie du mémoire, qui en est la partie principale, M. Armand décrit les moyens employés à la construction et au levage d'un pont à poutres droites en treillis d'une seule portée de 43 mètres, et il indique les méthodes de calculs qu'il a suivies pour déterminer les dimensions des diverses parties du tablier.

L'auteur du mémoire fait remarquer qu'il était très-difficile de se procurer les matériaux de construction, le pays ne fournit que des briques, on est obligé de faire venir la pierre dure de très-loin. Il fallait par conséquent faire le moins de maçonnerie possible, et surtout ménager l'emploi de la pierre; le choix d'un tablier métallique n'était donc pas douteux.

Le tablier en lui-même présente cette particularité qu'il est sans montants verticaux, et que, conformément à ce qu'indique la théorie, les dimensions des pièces de treillis vont en augmentant à partir du milieu de la portée jusqu'aux points d'appui sur les culées.

Ces dimensions ont été calculées par M. Armand en considérant, comme articulées toutes les barres du treillis à leurs assemblages avec les parties hautes et basses des poutres. L'exactitude de cette hypothèse est contestée par M. Contamin.

M. LE PRÉSIDENT demande alors quelles sont les méthodes employées aujourd'hui pour calculer les dimensions à donner aux pièces d'un pont en treillis.

M. CONTAMIN répond, que les parties supérieures et inférieures des poutres en treillis sont calculées comme si l'âme était pleine, et qu'on cherche à établir les treillis de manière à réaliser cette condition. Ils doivent donc non-seulement maintenir la distance entre les tables inférieures et supérieures des poutres, mais encore se comporter de telle sorte, que les déformations subies par ces tables soient celles qui se produiraient si l'âme existait; or, on sait que toute la théorie de la résistance des matériaux repose sur l'hypothèse que les éléments matériels qui se trouvaient primitivement dans une tranche quelconque, perpendiculaire aux arêtes longitudinales, restent encore, après la déformation du solide, dans un plan normal aux courbes qui remplacent les arêtes rectilignes, sans déformation notable de la tranche, et que les efforts intérieurs qui prennent naissance ne dépendant absolument que des déplacements relatifs de la tranche avant et après la déformation.

Les méthodes suivies aujourd'hui pour déterminer les dimensions des treillis ne semblent pas à M. Contamin remplir ces conditions; on suppose, dit-il, les poutres formées de pièces prismatiques articulées entre elles et formant une suite de triangles égaux; puis, considérant l'équilibre de chaque articulation, on détermine les forces auxquelles sont soumises les pièces qui y aboutissent en supposant celles-ci soumises simplement à des efforts d'extension ou de compression agissant dans le sens des pièces. En un mot, on assimile la poutre pratique à une pièce théorique qui n'a avec elle aucune ressemblance : dans la première, on s'attache à la rigidité, on croise les treillis aux croisements, on les réunit par le plus de rivets possibles, on fait de même à l'assemblage des treillis avec les parties hautes et basses de la poutre, et on obtient ainsi un tout dans lequel les diverses pièces sont invariablement reliées les unes aux autres, au lieu d'être simplement articulées. Par conséquent, dans les poutres pratiques, les treillis n'ont pas à résister à des extensions ou des compressions agissant suivant leur axe longitudinal; mais ils sont soumis à des efforts dont la direction et

l'intensité sont inconnues. Il existe là un problème qui est encore à résoudre. M. Contamin sait que M. Belanger étudie la question, et il espère que bientôt cet éminent savant communiquera à la Société une solution du problème qui, si elle n'est pas rigoureusement exacte, se rapprochera du moins beaucoup de la réalité.

M. Dallot dit que dans les grandes poutres latices à mailles serrées comme celles des ponts de Cologne, Kehl, etc., on n'a pas mis un nombre suffisant de rivets pour fixer les barres du treillis sur les contre-forts verticaux placés au droit des pièces de pont.

M. Normand rappelle que les Américains font, dans leurs constructions en bois, et notamment pour les ponts, un fréquent usage de poutres en treillis, et il a pu s'assurer par lui-même qu'ils se rendent compte, avec plus de soin qu'on ne le suppose généralement, de la résistance de ces poutres.

Appelé lui-même à les employer dans la construction des coques de navire, M. Normand a beaucoup étudié la question, et se croit en mesure d'indiquer à la Société la vraie méthode de calcul des poutres en treillis.

M. Normand développe sa méthode qui se base sur l'hypothèse que les pièces composant les poutres sont articulées.

M. Normand dit ensuite qu'il a déjà fait quelques expériences qui confirment sa méthode, mais qu'il va poursuivre ses essais, et qu'il les résumera dans un rapport adressé à la Société lorsqu'ils auront été assez nombreux pour être concluants.

MM. Aivas, Brauer, Brustlein, Borel, Cabany, Mouchelet, Bey, Maupeou et Robert ont été reçus membres sociétaires, et M. Morizot membre associé.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1864.

Présidence de M. PETIET.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. LOUSTAU indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 18 décembre 1863, de..... 606
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 154
760

A déduire par suite de décès..... 3
— de radiations et démissions..... 7 } 10

Nombre total des Sociétaires au 16 décembre 1864..... 750

Les versements effectués pendant l'année 1864 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc... 21,890 »
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable..... 20,147 » } 42,037 »

Il reste à recouvrer en cotisations, amendes et capital inaliénable... 6,487 »

Total de ce qui était dû à la Société..... 48,524 »

Au 18 décembre 1863, le solde en caisse était de..... 1,091 45
Les versements effectués pendant l'année 1864 se sont élevés à..... 42,037 » } 43,128 45

Les dépenses de l'année courante se sont élevées à :

1° Pour achat de 62 obligations nominatives..... 18,048 35
2° Dépenses pour l'extension du local..... 4,070 35
3° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc..... 17,174 75 } 39,293 45

Il reste en caisse à ce jour..... 3,835 »

dont..... 1,366 90 pour le service courant,
et..... 2,468 10 pour le fonds social.

Somme égale..... 3,835 » ..... 3,835 »

La Société a en outre en portefeuille sur son fonds social inaliénable 269 obligations de chemins de fer ayant coûté..... 80,418 90

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au Trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

Il est ensuite procédé aux élections des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1865.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

Bureau.

Président.

M. Salvetat.

Vice-Présidents.

MM. Callon (Charles).
Nozo.
Forquenot.
Love.

Secrétaires.

MM. Tronquoy (Camille).
Donnay.
Richoux (Charles).
Brüll.

Trésorier.

M. Loustau (G.).

Comité.

MM. Petiet (Jules).
Vuigner (Émile).
Alcan (Michel).
Flachat (Eugène).
Molinos (Léon).
Fourneyron.
Péligot (Henri).
Yvon Villarceau.
Goschler.
Arson.
Limet.
Alquié.
Mayer (Ernest).
Vuillemin.
Chobrzynski.
Dubied.
Thomas (Léonce).
Benoit-Duportail.
Barrault (Alexis).
Laurent (Charles).

MÉMOIRE

SUR LES

TRAVAUX DE L'ISTHME DE SUEZ.

PAR M. EUGÈNE FLACHAT.

DEUXIÈME PARTIE [1].

Depuis notre réunion du 7 octobre, nous avons eu communication de documents utiles à la discussion des moyens sur lesquels se fonde l'espoir de l'exécution régulière et normale des travaux de l'isthme de Suez.

Nous connaissons les traités passés avec les entrepreneurs; un très intéressant travail de M. Cadiat, sur les dragues de la Tyne, de la Clyde et du port de Toulon, a été mis à notre disposition. Des indications préliminaires sur la nature des terrains à traverser nous ont été également données.

Enfin, M. Gouin nous a très-obligeamment communiqué les dessins des dragues exécutées par lui et que la Compagnie de l'isthme de Suez a mises à la disposition de M. Ayton pour le creusement du canal maritime, dans la traversée des lacs Menzaleh et Ballah.

La lecture de ces documents confirme l'impression qu'ont produite dans le public les explications données par la Compagnie sur ses traités avec les entrepreneurs.

Toutes réserves expressément faites sur la nature des terrains à traverser; sur la facilité des transports, à travers l'isthme, que constituent d'un côté les rigoles des lacs Menzaleh et Ballah et du seuil d'El Guisr communiquant avec la branche du canal d'eau douce qui se dirige vers Suez; sur l'approvisionnement régulier d'eau douce; les abris; sur les conditions d'alimentation et d'hygiène qu'exige le bien-être des ouvriers et admettant que sur ces conditions premières, tout est conforme aux descriptions qui ont été faites et sur lesquelles la publicité a été

1. La première partie se trouve dans le résumé de la séance du 7 octobre, page

de fois appelée par la Compagnie pour que le doute puisse être exprimé ici, l'impression que l'on éprouve est que les prix des travaux stipulés dans les contrats sont égaux ou supérieurs à ceux qui seraient faits en Europe, et que le succès ne doit plus dépendre que de données qui sont à la portée des entrepreneurs, à savoir, une main-d'œuvre bien installée et un matériel suffisant et bien entendu.

La lecture des contrats confirme non-seulement cette impression, mais elle la fixe, en ce sens que les dispositions qu'ils renferment démontrent que l'importante question du matériel qui, pour accomplir dans un si court délai des travaux si considérables, est la pierre d'angle de l'édifice, a été envisagée par la Compagnie et ses entrepreneurs, de manière à dominer les éventualités à attendre dans un aussi grand développement de forces.

C'est cette impression que nous allons exposer ici.

Nous allons donc parcourir successivement, les contrats à la main, les diverses parties de la ligne du canal maritime, en cherchant à nous rendre compte des circonstances générales que pourra rencontrer l'exécution des travaux dans ses données techniques. Nous suivrons, comme seul et unique guide, dans notre étude, l'application des procédés connus de la plupart d'entre nous.

Les motifs de cette méthode d'examen sont faciles à comprendre : si l'exécution des travaux n'était possible qu'en sortant des moyens connus, le sort de l'entreprise serait attaché au succès éventuel d'autres moyens à découvrir. La conséquence se dégage de suite; c'est l'incertitude du succès.

Si, au contraire, il paraît évident que les moyens connus suffisent à l'œuvre, et que des moyens nouveaux, inutiles pour assurer la possibilité d'exécuter les travaux, ont pour seul but d'en abréger l'exécution et d'en réduire la dépense, toute incertitude cesse.

L'utilité de notre base de raisonnement se trouve ainsi établie.

A l'origine du canal, du côté de la Méditerranée, se présentent, sur une longueur de 60^{k},5, les lacs Menzaleh et Ballah, d'une profondeur d'eau moyenne de 0^{m},80 à 1^{m},10, à travers lesquels le creusement du canal maritime doit être effectué à une profondeur de 8 mètres. Les terrains sont considérés comme susceptibles d'être dragués. Le cube du canal est d'environ 251^{m3} par mètre courant, soit. . . . . 15,400,000^{m3}

Les déblais du bassin à Port-Saïd et ceux du goulet du port sont de. . . . . 6,300,000^{m3}

Ensemble. . . . . 21,700,000^{m3}

Le dragage, le transport et la décharge de ces terres sont soumissionnés au prix de 1^{f},35 le mètre cube.

Ce prix permet-il de supposer que l'application des moyens et de l'ou-

tillage ordinaires à ce genre de travaux a été le point de vue auquel la Compagnie et ses entrepreneurs se sont tenus?

L'instrument principal, ici, ce sont les dragues. Il convient donc de donner quelques détails sur les moyens de travail que fournissent aujourd'hui, pour les déblais sous l'eau, les appareils qui seront consacrés à ce travail. Ils ont été construits par MM. Gouin et Cie et par la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée, et leur valeur entre pour 5 millions dans le matériel livré par la Compagnie de l'isthme à l'entrepreneur.

Ces dragues ont une force de 50 chevaux. L'élinde est au centre du bateau; elle est armée de 28 godets; elle a 19m,20 de longueur; elle peut draguer à la profondeur de 8 mètres sous l'eau, et elle déverse les produits dragués à la hauteur de 8m,80 au-dessus de l'eau. Elle est mue par deux cylindres de 0m,50 de diamètre sur 0m,80 de course; son débit doit être de 15 à 20 godets par minute. Les godets, dont la largeur est de 1m,15, semblent d'une contenance de 450 à 550 décimètres cubes. La coque a 30 mètres de longueur sur 8 de largeur; elle a 2m,93 de hauteur, dont 1m,44 d'immersion.

En supposant les godets pleins; les terres du poids de 1,600 kilogr. hors l'eau et du poids de 600 kilog. dans l'eau, l'élinde serait chargée d'un poids total, de terre, de 9,200 kilog.

Aux vitesses de 0m,30 à 0m,45 par seconde, cela équivaudrait à un travail de 50 chevaux. Le débit théorique des godets serait de 400 à 470 mètres cubes par heure.

L'étude de ces dragues et la comparaison avec les résultats consignés dans le mémoire de M. Cadiat sur les dragues anglaises et de Toulon, laisse la conviction qu'en évaluant leur produit à 1,000 ou 1,200m³ par journée de 10 heures, l'ingénieur en chef des travaux est resté dans des limites très-modérées. C'est moins du quart environ du cube théorique; et nous lisons dans le mémoire de notre collègue, M. Castor, sur les dragages, pour l'exécution desquels il est passé maître, qu'il a habituellement obtenu beaucoup plus. Nous admettrons donc, pour le produit d'une drague, un déblai de 250,000 à 275,000m³ par année de 250 jours de travail. Et, pour faire la part des accidents, nous supposerons trois dragues pour deux en travail.

Quant au matériel de transport des déblais, son importance dépendra de la distance à parcourir jusqu'au lieu où les terres devront être jetées par les clapets de fond.

Nous ne nous occuperons pas des travaux de dragage du bassin de Port-Saïd. Ces déblais doivent être jetés à la mer, à deux kilomètres de distance. Une petite partie seulement sera reprise des bateaux porteurs, dans les wagons, pour former le terre-plein de la ville, qui sera établi à 2m,50 au-dessus du niveau moyen de la Méditerranée. Rien que d'ordinaire et de courant dans ces travaux dont la nécessité est d'ailleurs moins immédiate que celle du canal maritime.

Notre attention se porte donc exclusivement et avec un vif intérêt sur les 64 kilom. de canal maritime à draguer dans les lacs Menzaleh et Ballah.

Le canal peut être dragué comme le lit d'un fleuve. Cela ne semble pas douteux, pour les sept dixièmes du cube à déblayer, si les appréciations de la nature des terrains sont exactes. Les dragues peuvent être accostées par des lignes de chalands à clapets de vidange qui seraient conduits à la mer, en convois, par des remorqueurs d'abord, et, plus tard, sur des chaînes de fond, par des bateaux toueurs. Ce touage, dont la dépense ne s'élèvera pas à plus de 2 centim. par mètre cube[1] et par kilomètre, retour à vide compris serait, sur le canal, à partir d'une distance de 15 kilomètres environ, d'un emploi très-supérieur, comme économie et facilité, au remorquage ordinaire. Celui-ci serait d'ailleurs impossible dans certaines parties du canal, à cause du peu de consistance des berges.

Si on consulte à cet égard les chiffres donnés à diverses époques par notre collègue, M. Molinos, et, tout récemment, par MM. Chanoine et de Lagrenée, ingénieur des ponts et chaussées, sur le touage en lit de rivière et en canal, on peut se convaincre que ce mode de traction sera assurément un des moyens les plus économiques de transport des déblais dragués dans la portion du canal maritime qui traversera les lacs. Si donc nous partons de l'application des méthodes de travail connues, le touage pourra être employé jusqu'à ce que, par suite de la distance à parcourir, la dépense de la traction compense le déchargement sur berge des terres draguées, leur reprise sur wagons, et enfin leur transport et leur décharge en remblai, à distance, sur des voies ferrées, par les machines locomotives, et ces manœuvres pourront s'opérer, en restant dans les limites des prix d'entreprise.

Les points où de pareils remblais peuvent être effectués ne manquent pas sur ces lacs, qui ne sont, en général, qu'une vaste plaine couverte d'une mince épaisseur d'eau, (un mètre environ.)

Mais autant cette installation de dragues et de chalands à clapets de fond, conduits par trains sur le canal, au moyen du touage, jusqu'à la mer, semble simple, économique et propre à la rapidité d'exécution des travaux, autant on trouve de difficultés et de complications résultant de la forme du profil en travers du canal, en approchant des berges et à par-

1. Ce prix de 2c semble exagéré, mais il comprend le retour. Un train de 10 bateaux toué à la vitesse de 4 kilomètres à l'heure, ou 1m,10 par seconde exigerait sur un canal 20 chevaux de halage, faisant chacun un effort de 45 kilogr. et un travail de 61 kilogrammètres, soit 1220 kilogrammètres comme expression du travail de traction du convoi. Prenant un coefficient 0,30, cela suppose un travail de 3660km équivalent à 50 chevaux environ, dont la consommation, le personnel du toueur et du convoi pour l'heure d'aller et celle de retour, ainsi que l'entretien coûteraient 63 fr., soit 16 fr. par kilomètre retour à vide compris, et 1c,6 par mètre cube et par kilomètre. Nous avons compté 2c, la dépréciation du matériel et l'intérêt de son prix ne sont pas entièrement à la charge de l'entrepreneur.

tir de la profondeur où les dragues ne peuvent plus flotter. Ces difficultés nous paraissent avoir une origine toute gratuite, celle de l'adoption d'une pente de 2 mètres de base pour un de hauteur, pour les parois du canal et pour ses berges. Le mérite de ce profil est fort discutable.

La tenue des terrains hors l'eau, ou sous l'eau, a lieu à des inclinaisons très-différentes, suivant leur nature et la profondeur de l'eau. C'est la proportion d'argile et la propension du terrain à se déliter et à se charger d'eau, qui est la principale cause des faibles inclinaisons des talus. Il y a, dans le cas actuel, un si grand intérêt à approcher de la plus forte inclinaison, que cela semble une tentative à faire en première ligne.

Des dragues pourront être d'ailleurs, ultérieurement, disposées pour donner aux parois et aux berges du canal une inclinaison de 45°, en déversant leurs déblais sur la berge d'une manière régulière. Les deux berges, supposées en sable, n'absorberont pas le sixième du déblai du canal maritime, dans les parties où le fond solide sera à un mètre au-dessous du niveau des eaux.

L'économie et la rapidité d'un pareil procédé, pour terminer le canal et lui donner son profil définitif serait considérable. Il semble donc qu'il y a lieu de ne considérer les lacs Menzaleh et Ballah que comme une vaste plaine sous l'eau, de sable plus ou moins vaseux, plus ou moins argileux, plus ou moins susceptible de se tenir à des inclinaisons différentes et de commencer par y creuser un chenal de 40 mètres au moins de largeur, ayant la forme d'une cuvette à fond concave, dont la profondeur moyenne serait de 8 mètres sur 23 mètres de largeur au milieu; puis maintenir les rigoles près des banquettes, sur 9 mètres de largeur environ chacune, pour faciliter la construction et l'entretien des berges, sans se préoccuper autrement des formes du profil en travers, jusqu'à ce que, le chenal étant creusé, des dragues d'une construction spéciale à élindes inclinées suivant les talus à donner aux parois, puissent former et dresser à la fois ceux de la cuvette et des berges.

L'expérience vient ici à l'appui des dispositions dont nous parlons. Aucun canal n'a, jusqu'à ce jour, conservé son profil transversal d'exécution, et l'on peut dire qu'un profil théorique n'est applicable qu'à une condition unique et spéciale qui ne se rencontre jamais d'une manière générale et absolue.

Au point de vue de la facilité de la navigation et de la moindre vitesse d'écoulement des eaux servant à l'alimentation d'un canal, le profil doit avoir la plus grande section possible, c'est-à-dire les parois les plus rapprochées de la verticale, et les ingénieurs se servent de tous les moyens tels qu'empierrements, plantations d'ajoncs, etc., pour s'en rapprocher.

Au point de vue de la stabilité des parois d'un canal et des berges, le profil dépend encore du courant, de la nature du terrain et des dispositions prises pour assurer, par des plantations, la fixité du talus.

Les mesures qui ont arrêté, dans les climats Européens, la marche

tout entière dans la fixité à donner au sable, puisqu'il est répété que, partout, en Égypte, où l'eau douce humecte régulièrement l'argile qu'il contient, la végétation s'établit.

Faisant donc abstraction de la grave difficulté qui résulte pour le déblai du canal de la forme de son profil transversal, supposons qu'on chargera l'avenir de la formation des parois du canal et de la régularisation des talus des berges, en se bornant, quant à présent, à conserver et à réparer celles-ci pour y maintenir soit un chemin ordinaire, soit une voie ferrée, soit une conduite d'eau douce en fonte, et bornons-nous à examiner les questions qui se présentent dans l'exécution du dragage d'un chenal de 64 kilomètres de longueur, de 40 mètres de largeur sur 5 à 8 mètres de profondeur, fournissant 250^{m3} de déblai par mètre courant, et devant être terminé en quatre années.

On reconnaît de suite qu'enlever 15,400,000^{m3} de terre en quatre années, dans de telles conditions, est avant tout une question de matériel de transport; et que pour en calculer la nature et l'importance, il convient de rechercher ce que devra être, non pas le mode d'extraction des déblais, nous avons déjà dit que c'était aux dragues seules qu'il fallait avoir recours pour cela, mais quel sera le mode de transport des déblais.

Si on suit les procédés connus, le matériel qui servira à cette opération sera de deux systèmes.

D'abord les bateaux à clapets de fond; les remorqueurs, les toueurs et les chaînes de touage pour le transport des déblais à jeter à la mer.

Quant aux déblais transportés en cavaliers sur certaines parties des lacs, nous les supposons versés par les dragues sur des pontons qui seraient eux-mêmes toués et rangés à bord de quais bordés de voies ferrées; là les déblais seraient déchargés sur quai, rechargés sur wagons à déversement latéral, puis remorqués par des machines locomotives sur des voies de décharge. Il est clair que si les déblais pouvaient passer directement des pontons dans les wagons, cela n'en vaudrait que mieux, mais ce n'est pas encore un procédé expérimenté.

Ce système de reprise des déblais dragués sur wagons nous paraît pouvoir être substitué au transport des déblais à la mer à partir de la distance de 30 à 40 kilomètres du littoral méditerranéen.

Sa praticabilité n'est pas contestable en restant dans les prix alloués à l'entrepreneur.

L'importance du matériel de dragage et de transport ressort dans les deux systèmes des chiffres suivants :

Le déblai annuel devant être de 3,850,000^{m3}, ce sera, par jour, en supposant 250 jours de travail, 15,400^{m3}, soit 15 dragues de 50 chevaux en travail, ce qui en suppose 22 (nous ne comprenons pas ici les dragues à employer aux travaux de Port-Saïd).

Une drague remplira chaque jour 10 bateaux à clapets de fond

contenant chacun 100^{m3} au déblai qui seront toués jusqu'à la mer et ramenés.

Le nombre de ces bateaux doit être calculé pour la plus grande distance à parcourir. Dans la portion du canal située entre Port-Saïd et le kilomètre 30, 77 bateaux à clapets de fond doivent être ainsi envoyés journellement à la mer. Dans l'origine, la distance sera très-courte, mais vers la fin elle pourra être de 32 kilomètres, si la différence de frais entre le touage à cette distance, et la reprise des déblais par chemin de fer, le conseille. Dans ce cas donc 77 bateaux seront en service pour l'extrême distance, et avec les rechanges nécessaires le nombre devra être de cent. Deux chaînes de touages feront dans le canal l'office de deux voies ferrées. Sept à huit trains de 10 bateaux serait le maximum du mouvement journalier sur chaque chaîne. Il n'y a là rien que de courant.

En mer, du point où cessera la chaîne de touage jusqu'à celui où les déblais seront déposés, des remorqueurs conduiront les bateaux clapets jusqu'au lieu de décharge et les ramèneront sur la chaîne de touage.

Dans la partie du canal située entre les kilomètres 30 et 60, les pontons mobiles seront toués, halés ou remorqués jusqu'à des quais dont la situation sera à des distances variables de la drague; le nombre des pontons recevant du glissoir des dragues, 100^{m3} de déblais, pourra être de 10 par drague, dont 5 en charge et 5 en décharge.

Ce serait donc 70 bateaux pontons; soit, avec les rechanges, 90. Le nombre des toueurs ou remorqueurs sera de 10 pour 9 dragues. Il y aurait également, sur cette partie, deux chaînes de touage, si les distances de transport permettent d'adopter ce système.

Reste à déterminer l'importance du matériel en rails, wagons et locomotives pour un transport journalier et la mise en cavalier de 7,700^{m3} par jour.

Les wagons à déversement latéral porteraient 2^{m3},50, ils feraient, par jour, 10 voyages, soit 25^{m3}. C'est 340 wagons répartis en trois ateliers, soit 103 wagons par atelier et deux locomotives. Pour 340 wagons en service, il en faut 500. Pour 6 locomotives en service, il en faut 15.

Résumons maintenant le matériel nécessaire pour l'exécution de ces 60 kilomètres de canal :

22 dragues de 50 chevaux à	250,000^{f}	5,500,000^{f}
100 bateaux à clapets de fond à	15,000	1,500,000
90 bateaux pontons à.	15,000	1,350,000
2 chaînes de touage, 128000^{m} à	20	2,560,000
20 toueurs à	70,000	1,400,000
6 remorqueurs à	180,000	1,080,000
500 wagons à.	3,000	1,500,000
15 locomotives	50,000	750,000
50,000 mètres de voie ferrée à	30	1,500,000
Divers; ateliers; appareils..	—	2,500,000
		19,640,000^{f}

Nous estimons à 20 millions environ le coût de ce matériel. Rapprochant ces chiffres du résultat à atteindre, on trouve que dans les conditions de travail que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire pour créer un atelier dont le mouvement journalier soit de 15,400^{m3}, il faut, pour draguer et porter chaque jour, en mer, un mètre cube de déblai, un matériel ayant une valeur 1,040 fr. [1].

Pour draguer, porter à bord de quai, reprendre en wagon et porter en cavalier un mètre cube de déblai par jour, il faut un matériel ayant une valeur de 1,510 fr. [2].

Nous verrons plus loin que, dans des conditions analogues, l'emploi des chemins de fer, locomotives et wagons pour le transport des déblais, ne coûte pas plus de 400 fr. et peut descendre, dans de certaines conditions, à 185 fr. de matériel par mètre cube à transporter par jour.

Le matériel que la Compagnie met à la disposition de l'entrepreneur et qui se compose de 20 dragues de 50 chevaux, 20 plus petites dragues, 120 chalands, etc., a coûté près de 8 millions, et la Compagnie consent à avancer en outre à l'entrepreneur une valeur de 2 millions de matériel.

Nous voici à même de conclure, et notre conclusion c'est qu'en appliquant les procédés connus aux travaux à exécuter dans cette partie du canal, l'entrepreneur se trouverait obligé d'avancer en matériel de trans-

1. Matériel de terrassements par dragues, bateaux clapets, touage et remorquage par jour pour 7700^{m3} par jour.

11 dragues à 250,000 fr.	2,750,000^{f}	
10 bateaux clapets à 15,000 fr.	1,500,000	
Chaîne de touage 64 kil. à 20 fr. le mètre.	1,280,000	
10 toueurs 70,000 fr.	700,000	
3 remorqueurs 180,000 fr.	540,000	
Ateliers de réparations	1,250,000	
	8,020,000^{f}	7700^{m3}.

Soit 1040 francs de matériel pour transporter un mètre cube par jour.

2. Matériel de terrassements par dragues, bateaux pontons, touage, reprise sur wagons, chemins de fer, locomotives, pour 7700^{m3} par jour.

11 dragues à 250,000 fr.	2,750,000^{f}	
90 bateaux pontons à 15,000 fr.	1,350,000	
2 chaînes de touage 64 kil. à 20 fr. le mètre.	1,280,000	
10 toueurs à 70,000 fr.	700,000	
7 petits remorqueurs à 75,000 fr.	525,000	
500 wagons à 3,000 fr.	1,500,000	
15 locomotives à 50,000 fr.	750,000	
50 kilomètres voie ferrée à 30 fr.	1,500,000	
Ateliers	1,250,000	
	11,605,000^{f}	7700^{m3}.
		1510

Soit 1510 francs de matériel pour transporter un mètre cube par jour.

port une somme très-considérable si les travaux doivent être exécutés en quatre ans. Le délai d'exécution pèse, comme on le voit, sur le prix de revient des déblais par l'énorme proportion de matériel qu'il exige. Et si on considère que la nature du terrain peut amener un foisonnement considérable du cube à enlever, ces chiffres de matériel n'exprimeront plus qu'un minimum. C'est pour se garder de cette grave conséquence qu'il faut trouver un moyen mécanique de répandre les déblais dragués sur les berges. On éviterait ainsi le transport à distance.

Tel est le grave intérêt de la question. Il ne faut cependant pas s'en exagérer la portée.

L'esprit du traité de la Compagnie avec son entrepreneur, autant qu'il résulte du prix même qui a été stipulé, est celui-ci :

Le prix se compose :

1° De l'entretien et de la tenue en état courant de travail, du matériel livré à l'entrepreneur par la Compagnie;

2° De toute la main-d'œuvre et de tous les frais et consommations de matières résultant de l'exécution des travaux ;

3° Et enfin de l'acquisition, du transport, de l'entretien et de la dépréciation du matériel supplémentaire que l'entrepreneur sera obligé d'ajouter, pour terminer les travaux en quatre ans, à celui que la Compagnie aura mis à sa disposition.

L'ensemble des déblais du canal étant de 15,400,000^{m3}, la part à attribuer en valeur du matériel à chaque mètre cube de déblai serait de 1 fr. 27 c. Mais comme la Compagnie en met à la disposition de l'entrepreneur pour une somme d'environ 8,000,000 de francs, cela se réduit à 75 cent. De ce chiffre, il entrera dans le prix du déblai la moins-value du matériel après l'achèvement des travaux.

Supposons que, sur cette partie du matériel, la dépréciation soit de 3 c. 4 millions de francs à répartir sur 15,400,000^{m3}, ce sera 0^{f},26 par mètre cube.

On aperçoit donc une limite à cette éventualité. Le foisonnement des déblais ou leur mauvaise nature peut seule la modifier. Il est à croire qu'elle a été considérée dans la discussion du prix, et que l'entrepreneur a dû se rendre compte des moyens d'y pourvoir.

Toujours est-il que ces calculs, fondés sur la supposition de l'emploi des moyens les plus simples, donnent une grande confiance dans la marche régulière des travaux, en tant que les prévisions sur la bonne nature des terrains seront confirmées. Le prix de revient du dragage est connu; nous renvoyons au mémoire de M. Cadiat à cet égard; celui du transport des déblais l'est également; l'entrepreneur a une longue expérience en ce genre. Quant à la reprise des déblais par le chemin de fer, les chiffres sont trop familiers aux ingénieurs pour qu'il soit nécessaire de les rappeler.

Cependant je ne résisterai pas à la tentation de dire quelques mots d'un

atelier du genre de ceux dont j'ai supposé l'application et qui est ouvert sous vos yeux, dans Paris même, sur le chemin de fer de l'Ouest. Là, à chaque heure du jour, un convoi de 120 mètres cubes est expédié aux décharges situées à deux ou trois kilomètres hors Paris. Le convoi est composé de vingt wagons portant 10 tonnes, ou 6.25 mètres cubes au déblai.

Six hommes suffisent, à chaque heure, pour fouiller, rouler à distance et charger les 6m 25 de déblais qui remplissent un wagon. La terre, il est vrai, descend toujours, mais la tranche et quelquefois la pointe de la pioche sont nécessaires pour la détacher. Un homme suffit donc très-amplement à un mètre cube par heure. La hauteur de la tranchée est variable et les voies ferrées disposées en étages. A la décharge, deux hommes par wagon suffisent. De telle sorte qu'un homme, à chaque heure, décharge, à la pelle, 3 mètres cubes.

Ainsi, dans la journée de 10 heures, un ouvrier, à la fois piocheur, rouleur et pelleur a manié 10 mètres cubes. Un pelleur en a manié 30 à la décharge. Ce travail n'est pas exagéré, puisque, dans les longs jours, les ouvriers ont demandé à travailler 13 heures. Ce sont, il est vrai, des ouvriers d'élite et très-fortement payés; mais il y a là une des installations les plus courantes et les plus simples. Faisons observer de nouveau que, dans cet atelier, la terre descend toujours, et c'est là une des combinaisons rationnelles de l'installation, celle qui explique la grande quantité de travail de l'ouvrier. L'enseignement qui résulte de cet ordre de faits, c'est que la décharge des pontons et la recharge sur wagons n'est pas une cause grave d'augmentation de dépense, si la condition des niveaux relatifs de décharge et de recharge est bien entendue.

Il est dans la traversée des lacs un ordre d'éventualités sur lequel l'attention a été portée.

On craint que le tracé du canal maritime ne rencontre dans le lac Menzaleh des parties où les vases molles et fluides auront une profondeur de plusieurs mètres. Nous ne verrions à cela rien de bien effrayant. Si la difficulté est locale, un remblai porté de chaque côté du canal par voie de fer, atteindra ou comprimera rapidement le fond et les vases ainsi enfermées seront facilement draguées et écoulées au delà des berges. Si le mal était plus étendu, rien ne serait plus facile que de déposer les déblais du seuil d'El-Guisr sur deux remblais espacés de 150 mètres, servant au canal, de berge, de digue et de parois.

Ce procédé n'a rien de nouveau. Les ingénieurs préfèrent traverser les vallées dont le fond consiste en vase molle, même sur 10 à 15 mètres de profondeur, par un remblai plein descendant au besoin par la base jusque sur le fond solide, que de porter le remblai sur une fondation artificielle. De chaque côté du remblai, les vases comprimées et refoulées se relèvent à des hauteurs et à des distances variables. Il est peu de chemins

de fer où cela ne se soit présenté dans une certaine mesure; mais les exemples les plus récents et la description la plus intéressante de ces travaux sont donnés par M. Croisette-Desnoyers, ingénieur en chef des ponts et chaussées. (Remblais dans la vallée vaseuse de Bretagne; chemins de fer de Nantes à Brest et de Rennes à Redon, *Annales des ponts et chaussées*, mai et juin 1864.)

Il faut en convenir : le foisonnement provenant de la fluidité des terres est, sans aucun doute, une des éventualités les plus graves dans la traversée du lac Menzaleh; mais cette éventualité même a, comme nous l'avons dit, pour limite l'établissement de deux digues longitudinales construites, au moyen de voies ferrées, avec les terres provenant des parties où le déblai aura de la consistance. C'est donc presque exclusivement une question de transport, car, dans les vases inconsistantes, le prix du dragage en lui-même est très-sensiblement abaissé. Dans les premiers essais qui ont été faits, en vue des travaux de l'isthme de Suez, par M. Amable Cavé, membre de cette Société, au moyen d'une drague et d'une chaîne sans fin, à cuvettes métalliques, qui sont décrites dans le *Génie industriel* de MM. Armengaud, le sable dragué en Seine et porté en tas sur la berge, à 7 mètres de différence de niveau, revenait, en dépense immédiate, à 0f,15 le mètre cube. S'il est vrai que, dans la traversée des lacs, le sol a partout supporté le poids de deux levées, dont le pied dans l'eau à une hauteur moyenne d'un mètre, et la partie hors l'eau une hauteur égale, il devient difficile d'admettre qu'un sol qui résiste ainsi à une pression de 2,400 kilog. par mètre carré soit absolument fluide et inconsistant. L'histoire des remblais établis sur terrains inconsistants démontre que la quantité de terre qu'ils exigent, pour atteindre leur profil normal en crête, est loin d'atteindre celle qu'il faudrait si le fond solide, couvert de vases marécageuses, leur servait d'assiette. On peut inférer, en effet, des détails donnés par M. Croisette-Desnoyers, que, dans la traversée de la vallée de l'Oust, par un remblai de 5m,75 de hauteur, sur un kilomètre de longueur, reposant sur les vases molles de terrains marécageux, dont la profondeur variait de 8 à 14 mètres, le profil normal étant de 83m3 par mètre courant, s'est élevé, par les terres enfouies, à 220 mètres, pendant que le profil d'un remblai de 13m,75 de hauteur eût été de 380 mètres. C'est donc la différence de 173 à 100.

Réduit à une question de transport, le foisonnement a sans doute encore une grande importance comme dépense et comme délai d'exécution; mais ce que nous avons dit suffit pour montrer la limite de cette éventualité.

Nous sommes plus touchés de la difficulté de la vidange des godets de dragues lorsque les terrains seront composés d'un sable argileux et compacte. Dans ce cas l'emploi d'un jet d'eau à haute pression par le fond ou par l'ouverture du godet est efficace, mais il oblige à un ralentissement

considérable dans la marche de la drague, chaque godet exigeant quelques secondes pour que la terre qu'il contient soit délayée.

Après avoir décrit la nature des opérations praticables dans cette importante partie du canal, nous pourrons passer plus brièvement sur les autres, puisque la plupart des questions qui intéressent celle-ci se représentent dans leur exécution.

Le traité fait avec M. Couvreux pour la traversée du seuil d'El-Guisr comprend 13 kilomètres d'étendue dans lesquels le déblai est d'environ 9,000,000^{m3}. L'entrepreneur est libre d'exécuter, s'il le peut, la partie de ces déblais qui est au-dessous du niveau de la mer, à sec ou par le moyen de dragues; mais comme il est obligé de conserver, pour la facilité des transports, la rigole de navigation ouverte entre les lacs Ballah et Timsah, il en résultera probablement la nécessité pour lui de déblayer sous l'eau la plus grande partie de la forme du canal, soit environ 3,000,000 de mètres cubes.

Ces travaux doivent être terminés en trois ans et demi. C'est, en Égypte, 875 jours de travail ou 2.575.000^{m3} par an, ou 10,500^{m3} par jour. Le prix est de 1^{f} 60^{c} le mètre cube, pour toute nature de terrain ne nécessitant pas l'emploi du pic, de la pince ou de la barre à mine. Il est de 3^{f} 50^{c} pour les déblais à sec, dans le cas où des terrains à extraire par ce procédé se montreraient dans les fouilles.

Dans le cas de rencontre de mêmes terrains dans les déblais sous l'eau, le prix serait réglé de gré à gré.

Les données de cette entreprise sont, pour ce qui concerne les déblais à sec, de celles qui ne soulèvent, en apparence, aucune difficulté.

L'entrepreneur évalue que le matériel qui lui reste à acquérir exigera une avance de fonds de 1,900,000^{f}, et la Compagnie lui en avance les trois quarts.

Cette évaluation comprend le matériel pour les déblais à sec et sous l'eau. Si le coût de l'un et de l'autre de ces deux matériels est proportionnel au cube à enlever, les deux tiers de la somme ci-dessus, soit 1,266,000^{fr}, s'appliqueront au déblai à sec de 7,000 mètres cubes par jour. Or, d'après notre expérience personnelle, la valeur du matériel appliqué au transport journalier d'un mètre cube de déblai en remblai, dans les conditions qui exigent l'emploi des wagons, des locomotives et des voies ferrées, est de 185 à 400 francs.

Nous avons obtenu le chiffre le plus bas par l'emploi de wagons contenant 10^{m3} au déblai (16^{t},5 à 18^{t}) dans un atelier de vingt trains de 20 wagons chacun par jour, portant 4,000 mètres cubes en 10 heures de travail[1]. Quant au second prix, il résulte de l'emploi des wagons à bal-

1. Matériel d'un chantier de terrassements par wagons, locomotives et chemins de fer,

last ordinaires, portant 6m3.25 ou 10 tonnes. La puissance des locomotives variant, dans les deux cas, du simple au double, mais non leur prix[1].

A ce compte, et en supposant l'une des deux installations que nous venons d'indiquer, le matériel nécessaire pour enlever 7,000m3 par jour, coûterait entre 1,085,000 fr., ou 2,800,000 fr., suivant que l'entrepreneur pourra employer des wagons de plus grande contenance, des rails plus lourds et des locomotives plus puissantes. A cette somme il faudra ajouter le coût de quinze excavateurs que l'entrepreneur compte employer dans ses travaux.

Par l'emploi des procédés habituels, le matériel nécessaire pour l'enlèvement, en 875 jours de travail, de 9,000,000m3 de déblai à sec et sous l'eau, pourrait donc coûter de 3,500,000 fr. à 4,000,000. Ce serait environ 0f,42c par m3, mais la moins-value seule de ce matériel à la fin des travaux entrerait dans le prix de revient. D'après ces bases, les données de l'expérience se rapprocheraient de celles que supposent les conditions du traité.

Le marché qui vient ensuite comprend la traversée du seuil de Serapeum, des lacs Amers et du seuil qui sépare ces lacs de la mer Rouge. Il comprend, sur une longueur de 80 kilomètres environ, 24,500,000 mètres cubes de déblai, qui doivent être enlevés en trois ans. Ce sont 8,166,000 mètres cubes par an, ou 32,700 mètres cubes par jour. Les prix sont de 1f 95c pour 9,300,000 mètres cubes, et de 2f 45c pour 15,200,000 mètres cubes.

La Compagnie consent à avancer 16,800,000f aux entrepreneurs pour acquisition du matériel, ce qui correspond à 0f,58c par mètre cube, mais elle se réserve la propriété, à la fin des travaux, de la partie de ce maté-

faisant 4000m3 par jour, en 20 trains, les wagons portant 16 à 18 tonnes ou 10m3 ; trains de 20 wagons portant 200m3 ; 2 trains par heure.

100 wagons à 4000 fr.....	400,000 fr.	745,000 fr.
3 machines locomotives à 75,000....	225,000	
4 kilomètres de voie à 30 fr.	120,000	

Soit 745,000 : 4000 = 186 fr. par m3.

1. Terrassements par wagons à ballast, locomotives et chemins de fer. Matériel d'un chantier de 10 trains par jour de 10 heures, de 120 m.3 par train, ou 1200 m.3 par jour.

20 wagons en charge.....	60 wagons à 4000 fr..	240,000 fr.
20 id. en décharge.....		
20 id. en réparations.....		
3 locomotives à 50,000 fr.....		150,000
2000 mètres de voie ferrée, changements de voie, etc., à 30 fr.		90,000
		480,000 fr.

Soit 480,000 : 1200 = 400 fr. par m.3.

déchargement des déblais, ainsi que des installations immobilières.

Le matériel que les entrepreneurs auront à se procurer dépendra nécessairement du mode d'exécution des travaux qu'ils choisiront.

Nous avons vu que pour les déblais à sec par chemins de fer, wagons et locomotives, l'enlèvement d'un mètre cube par jour pouvait être fait avec un outillage qui, suivant la dimension des véhicules et la puissance des machines, peut descendre à 185f, et que, dans les conditions d'emploi du matériel qui sert aujourd'hui au ballastage, ce chiffre s'élevait jusqu'à 400f, tandis que pour le déblai sous l'eau et le transport en mer, cette mise dehors en matériel était de 1,040f, et dans le cas de sa reprise sur wagons et de jet en cavalier, elle était de 1,510 francs.

Pour rapprocher des chiffres qui précèdent, la part dont la Compagnie consent à faire l'avance pour l'acquisition du matériel, il suffit de diviser les 16,800,000f ci-dessus par les 32,650m3 à enlever par jour. Cela donne 513f. Or, en supposant les déblais à sec et les déblais sous l'eau répartis en quantité égale, la moyenne du matériel devrait représenter en valeur

ou 612f (1,040 + 185 = 1,225); soit 20,350,000f ou 0f,83 par m3;
ou 720f (1,040 + 400 = 1,440); soit 23,900,000f ou 0f,97 par m3.

Dans ce contrat comme dans les contrats précédents, le prix du déblai à sec s'élève à 3f 50c par mètre cube, dès qu'ils ne sont plus exécutables qu'au pic, à la pince et à la mine.

Il est, dans certains cas spéciaux, traité de gré à gré.

Les prix payés par la Compagnie pour ce lot, s'expliquent par un ensemble de circonstances. On s'attend que les terrains seront plus durs. Les chantiers sont moins facilement abordables. Il y a à faire là une première installation qui est, en grande partie, accomplie dans les deux autres lots. Enfin la presque totalité du matériel acquis par l'entrepreneur restera à la fin des travaux propriété de la Compagnie. L'importance de cette dernière condition n'échappera à personne : la part en matériel et outillage dans le prix de revient pouvant s'élever, à cause des courts délais d'exécution, de 0f,80 à 0f,90 par mètre cube de déblai.

On a fait sur le mode d'exécution des travaux de ce lot des suppositions qu'autorisent la nature du sol, sa configuration, ainsi que son niveau relatif aux eaux douces et à celles de la mer. Plusieurs systèmes sont discutables, et ces questions excitent le plus vif et le plus sympathique intérêt parmi ceux d'entre nous qui connaissent l'esprit d'entreprise et la grande expérience des membres de notre Société auxquels ces travaux sont confiés.

Pour rester fidèle à notre méthode d'exposition qui consiste à n'interpréter les contrats que d'après l'emploi des procédés connus, nous ne pourrions que reproduire ici les mêmes calculs que nous avons appliqués aux deux contrats précédents, pour arriver au même résultat.

En résumé, la part de la Compagnie dans le matériel nécessaire à l'entreprise, celle aussi dont elle avance le prix, celle qui lui sera rendue en laissée en état courant de travail, après l'exécution, est, dans les trois contrats ci-dessus, de 26,700,000^{f} environ. Le complément dépendra du procédé qu'adopteront les entrepreneurs; il est probable qu'il sera considérable, et pour s'élever jusqu'à 15 ou 18 millions de francs.

Nous ne devons pas oublier de mentionner que, dans ces divers traités la Compagnie donne gratuitement aux entrepreneurs l'eau douce pour l'alimentation des ouvriers et les soins médicaux. Elle percevra par journée d'ouvrier à l'hôpital. Elle donne aussi gratuitement les terrains pour ateliers, magasins, dépôts et habitations, ainsi que le passage gratuit du personnel sur ses canaux, etc.

D'autres questions ont été l'objet de longues et savantes études dont vous désirerez être entretenus.

L'une d'elles se rattache aux courants que pourraient créer dans le canal, les dénivellations résultant des différences de hauteur des marées dans la Mer Rouge. Cette question a été traitée successivement par MM. Lieussou, Poirée, Cadiat, et enfin par M. Chevallier. Elle exige, pour être exposée, quelques recherches dans les documents qui ont été produits.

En admettant, ce qui est d'ailleurs aujourd'hui établi, que le niveau moyen des deux mers soit sensiblement le même, on a constaté que, du côté de la Mer Rouge, l'amplitude de la marée d'équinoxe était de 2^{m},2, que la variation du niveau des eaux, due à l'action propre des vents était de 1^{m}; soit, en cas de coïncidence, 3^{m},2 de différence de niveau. La commission ajoute, il est vrai, que ces données exigent une vérification, mais, à partir de 1856, nous ne trouvons, dans les documents, rien qui indique qu'elles aient été modifiées par de nouvelles observations.

Du côté de la Méditerranée, l'amplitude de la marée est de 0^{m},3. L'action du vent sur le niveau de la mer, à Port-Saïd, n'est pas indiquée.

Il semble qu'il n'y a pas à prévoir de courant sensible à l'extrémité du canal du côté de la Méditerranée. Si le canal est en communication avec le lac Menzaleh, les faibles différences de niveau de la mer seront amplement combattues par l'influence du lac, dont la superficie est telle que, par le fait seul de l'évaporation, on devrait s'attendre à un courant continu et considérable, de la mer à l'intérieur, si ce lac n'était pas, en par d'autres points, en communication avec la mer.

Du côté de Suez, la question change d'aspect et elle nous semble, au premier coup d'œil, avoir été envisagée d'une manière trop complexe.

On a assimilé le canal à l'embouchure d'un fleuve soumis aux influences de la marée et du vent. Est-ce bien là la question? N'est-elle pas beaucoup plus simple?

En admettant la parfaite tranquillité de la mer dans la rade de Suez

l'action de la marée, comme élévation et abaissement du niveau doit être sensiblement régulière; cependant les lacs Amers ayant une superficie de centaines de millions de mètres carrés, tendront, sous l'influence de l'évaporation, à se vider constamment d'une quantité d'eau appréciable.

Les lacs Amers et la mer Rouge sont donc deux réservoirs, dont le premier verra son plan d'eau s'abaisser en vingt-quatre heures de 7 à $10^{m}/_{m}$, tandis que le second s'abaissera ou s'élevera, en six heures, habituellement de 1^{m} ou $1^{m},20$, et dans des cas rares et fortuits de coincidence du vent et de la marée d'équinoxe, de trois mètres environ. Ces deux réservoirs sont séparés par un canal de 25 kilomètres de longueur: la section de ce canal sera de 585 mètres carrés.

Si les deux réservoirs étaient dans les mêmes conditions d'égalité et de tranquillité de niveau, il est probable que le courant serait continu de la mer Rouge aux lacs Amers, le niveau de ces lacs diminuant par l'évaporation et ceux-ci n'ayant que le canal maritime comme moyen d'alimentation, tandis que la Mer Rouge a pour s'alimenter toute la section du détroit de Babel-Mandeb. Il en est ainsi du détroit de Gibraltar, par rapport aux superficies relatives de l'Océan et de la Méditerranée.

Mais le niveau de la mer étant variable à Suez, le courant continu dont nous parlons sera combattu par l'abaissement de la marée. Une onde se produira dans le canal, plus forte cependant, pour la cause que nous avons indiquée, dans le sens du Nord que dans le sens du Sud. Quelle sera cette onde? c'est-à-dire quelle sera sa hauteur, son étendue, sa vitesse de propagation? La hauteur dépendra évidemment de la différence de niveau; l'étendue dépendra de la section du canal et du temps pendant lequel la différence de niveau se produira.

La vitesse de propagation sera fonction des trois conditions ci-dessus.

Les bases du calcul semblent donc simples, et nous nous demandons pourquoi cette méthode n'a pas été suivie.

A défaut, nous suggérerions l'exemple que donne la vitesse résultant de la pente des cours d'eau dont la section approche, comme débit, de celle du canal maritime; la Seine[1], par exemple, en eaux moyennes.

1. Vitesse et débit de la Seine par seconde :

En aval de Montereau, pente $0^{m},23$ par kilomètre.		En aval de Melun, pente $0^{m},17$ par kilomètre.		Hauteur de l'eau au-dessus de l'étiage.
VITESSE.	DÉBIT.	VITESSE.	DÉBIT.	
$0^{m},64$	141^{m3}	$0^{m},77$	170^{m3}	$1^{m},00$
0 ,76	245	0 ,99	308	1 ,80
0 ,84	336	1 ,18	446	2 ,40
0 ,91	430	1 ,30	592	3 ,00

Il est reconnu qu'une pente de lit de 15 à 18 centimètres par kilomètre donne lieu, sur cette rivière, à des vitesses d'écoulement qui varient entre 0m,80 et 1m,10 par seconde. Partant de cette donnée le canal maritime ayant une longueur de 25 kilomètres, une hauteur de (25 × 0,15) 3m,75 de dénivellation des eaux de la mer Rouge sur celle des lacs Amers déterminerait un courant de même vitesse de 0m,80 à 1m,10 par seconde dans le canal. Mais comme cette dénivellation se produirait en six heures et comme l'onde en mettrait sept à la vitesse de 1m par seconde pour parcourir le canal, la vitesse serait déjà diminuée à l'origine quand l'onde arriverait aux lacs.

Dans les cas ordinaires la différence de niveau se produisant régulièrement, et cette différence étant de 1m,25, soit 0m,20 par heure, cette dénivellation n'engendrerait que des vitesses d'accélération à peine sensibles. Toute crainte semble donc bannie à cet égard.

Cette question est, peut-être, moins simple que nous ne la faisons. Nous voulons le croire d'après l'importance des recherches auxquelles elle a donné lieu. Nous-mêmes, dans l'origine de la question, nous avions émis, ici, l'opinion qu'un système d'écluses était nécessaire à l'origine du canal du côté de Suez. A ce moment, l'égalité de niveau entre les deux mers était pressentie, mais non prouvée. L'influence des trois lacs Menzaleh, Ballah, Timsah et des lacs Amers, sur le niveau moyen, n'était pas envisagée au point de vue de l'évaporation. En un mot, les éléments de la question étaient moins précis. L'opinion en faveur d'un canal sans portes et qui est lui-même un pertuis a prévalu, et de savantes observations, des calculs également savants sont en faveur de cette opinion. Nous avons dit par quelles raisons simples et quels rapprochements rationnels nous nous rangeons à cette opinion.

Nous avons entendu exprimer le regret que la section du canal ait été réduite, et nous nous associerions à ce regret, si la lecture des contrats ne nous laissait la conviction que la Compagnie s'est réservé des facilités d'agrandissement dans l'avenir. Le point capital est de donner passage aux embarcations qui desservent actuellement le commerce et de prévoir même un accroissement de leurs dimensions puisqu'il se produit chaque jour.

Ces embarcations sont de trois espèces :

1° Les navires à voiles dont le tirant d'eau excède très-rarement 7 mètres et la largeur 13 mètres. Ceux-ci devront être toués par trains dans le canal. Dans les canaux, le touage a, sur le remorquage, une supériorité qui, à vitesse égale, se résout en diminution proportionnelle de section du canal.

2° Les navires mixtes, à hélice et à voiles, qui, pour l'Inde et la Chine se substitueront d'autant plus rapidement à la navigation à la voile que le trafic est basé sur l'échange de produits d'une grande valeur et que les

mers à traverser sont soumises à des vents réguliers contre lesquels il faut souvent lutter, et dont il faut aussi se servir à l'occasion. Les dimensions des navires de ce système qui admet de très-fortes coques avec des moteurs relativement faibles ne dépassent guère en largeur et en tirant d'eau les chiffres ci-dessus.

La faible vitesse à laquelle leurs grandes dimensions, par rapport au profil du canal, les restreindront, rendra le touage aussi nécessaire pour ces navires que pour les précédents, car ces masses ont besoin, pour se diriger facilement, d'une vitesse assez considérable; et même à pleine vitesse leur rayon minimum d'évolution n'est pas de moins de 500 mètres.

3° Les bateaux de poste et de passagers. Ceux-là sont aujourd'hui, dans les mers de l'Inde et de la Chine, des navires à hélice dont le tirant d'eau à l'arrière ne dépasse pas $7^{m},50$, la longueur des coques 100 mètres et la largeur $13^{m},50$. Mais ces dimensions sont assez généralement atteintes.

Ces derniers bateaux ne passeront l'un près de l'autre qu'avec de grandes précautions, forcés qu'ils seront par la situation de leur hélice, et son diamètre qui est généralement de 6 mètres, de garder la partie du chenal dont la profondeur serait de 7 à 8 mètres. Mais comme leur vitesse dans le canal ne pourra dépasser 4 à 5 nœuds, et qu'elle ne soumet pas assez ces navires à l'influence de leur gouvernail pour qu'on soit complétement maître de leur direction, le touage sera encore nécessaire et pourra résoudre en partie la difficulté.

On a dit que ces navires ne traverseraient pas le canal; que les grandes Compagnies faisant le service de la poste et des passagers, garderaient leur organisation actuelle qui consiste à employer, pour atteindre Alexandrie, des navires plus petits que ceux qu'elle emploient dans la mer des Indes.

Nous ne partageons pas cette opinion. La vitesse des navires à hélice faisant le service de la poste et des passagers dans les mers de l'Inde est aujourd'hui de $9^{n},5$ à $10^{n},5$. Des navires à hélice de construction identique, mais plus puissants, atteignent sur la ligne de New-Yorck des vitesses de $11^{n},5$ à 12 nœuds (China, Australasian.)

On voudra obtenir les même résultats. Marseille, Londres et Liverpool expédieront dans les Indes et la Chine des navires de même puissance et de même vitesse. Le ralentissement qui, pour la traversée de l'Isthme de Suez équivaudra à 12 heures au plus, est bien loin de compenser l'avantage d'éviter le transbordement des voyageurs, de leurs bagages et des marchandises, comme aussi de faire rentrer près des grands ateliers de réparations, des navires dont le service est toujours fatiguant.

On voit donc poindre dès aujourd'hui un intérêt à l'accroissement de la section du canal; il ne faut pas sacrifier d'une manière absolue cette éventualité.

En résumé, la situation de l'entreprise du percement de l'isthme de Suez par un canal maritime, envisagée au seul point de vue technique, n'a de solutions nouvelles à demander à l'art de l'ingénieur que pour abréger les délais d'achèvement et diminuer les dépenses d'exécution. Par les moyens connus, l'entreprise est praticable. Les marchés contractés stipulent des prix qui seraient favorables en France, en Angleterre, et dans tous les pays où la main-d'œuvre s'établit sur les facilités d'existence des ouvriers et l'abondance de la population locale.

La base de ces traités est un grand déploiement de forces en matériel, et non-seulement c'est un bien, mais encore c'est une condition de succès, parce que c'est, entre toutes, celle qui réduit le plus l'emploi de la force humaine.

Deux seuls éléments d'éventualités subsistent : les ressources en main-d'œuvre et le foisonnement des terres dans les déblais sous l'eau. La première est la plus grave : celle sur laquelle l'attention, les précautions ne seront jamais assez grandes, assez minutieuses. En face d'un délai d'exécution limité à quatre ou cinq années, ce doit être là la plus sérieuse préoccupation. Tout ce qui sera fait pour le développement des trois ou quatre villes que la construction du canal aura créées, et que son exploitation fera riches et actives, sera un gage de succès. Le soin de cet immense intérêt ne doit pas être livré à un autre intérêt isolé et temporaire. Il faut aider, devancer même les besoins. En un mot, agir dans cette voie, comme on l'a fait jusqu'à ce jour. De tout ce que la Compagnie a accompli depuis sa constitution, la part la plus féconde est celle-là, qu'elle n'abdique pas cette tâche, parce qu'elle serait difficile. Si la tâche était facile, on pourrait en abandonner le soin à d'autres. Or, il n'y a pas de problème plus ardu que celui d'une grande et immédiate colonisation d'ouvriers.

Quant au foisonnement des déblais dans les terrains marécageux, il faut le reconnaître de suite et attaquer sans hésitation ces déblais.

Dans l'établissement d'un chemin de fer, c'est par les travaux difficiles, longs et présentant des éventualités, que l'on commence. C'est ici le cas d'agir de même.

Nous avons abordé dans cette dernière étude, les points sur lesquels l'attention de l'ingénieur aime à se fixer dans l'exécution de semblables entreprises.

L'ère nouvelle dans laquelle celle-ci est entrée est toute d'art, de combinaisons, mais rien d'inconnu, rien d'impossible, rien de très-difficile même n'y défie l'intelligence des hommes.

De fortes études guidées par de puissants intérêts préparent les moyens d'exécution.

Dans un an, dans deux années au plus, les travaux de l'isthme de Suez seront le plus vaste atelier qui ait jamais existé dans le monde.

y seront engagés. Ce sera le terrain de la plus grande lutte pour substituer les forces mécaniques à celles de l'homme. La part de la France aura été la plus forte dans cette organisation. Elle continue dans cette contrée ce qu'elle a commencé et accompli en Espagne, en Russie, en Italie et en Autriche, et après ce succès il est probable que ni elle, ni ses ingénieurs ne s'arrêteront là.

ÉTUDE

SUR LES MOYENS MÉCANIQUES A EMPLOYER

AUX

TRAVAUX DU CANAL MARITIME DE SUEZ,

dans la traversée des lacs Menzaleh et Ballah.

PAR M. EDMOND BADOIS.

Les travaux du canal maritime de Suez se divisent, ainsi que les rapports officiels de la Compagnie l'ont fait connaître, en plusieurs lots, dont chacun présente un intérêt spécial :

1° Les lacs Menzaleh et Ballah, traversés sur les 64 premiers kilomètres, et qui n'ont que peu de profondeur ;

2° Les dunes d'El-Ferdane, qui se prolongent jusqu'à Ismaïlia et atteignent au seuil d'El-Guisr la hauteur de 19 mètres au-dessus du niveau de la Méditerranée ;

3° La portion entre Ismaïlia et Suez, qui comprend le lac Timsah et les lacs Amers actuellement à sec, lesquels affectent des dénivellations de 10 mètres par rapport à la mer, et aussi le seuil important du Sérapeum et les lagunes de Suez,

Chacune de ces sections exige, par sa configuration, sa position et la nature des terrains à enlever, des méthodes de travail et des installations toutes différentes.

Ayant été à même, pendant une année, de suivre les dragages qui se sont faits à Port-Saïd, et d'en diriger une partie, j'ai pu étudier plus en détail le premier lot, celui que forment les lacs Menzaleh et Ballah.

Je me renfermerai donc dans l'examen de cette portion des travaux, et je rechercherai les moyens mécaniques qui me paraissent devoir être employés avec le plus de succès pour son achèvement, dans le délai de trois années.

DÉFINITION. — Ainsi que je l'ai dit, cette partie du canal comprend 64 kilomètres, depuis Port-Saïd jusqu'à la fin des lacs Ballah.

Le canal doit y être ouvert à une largeur au plan d'eau de 58 mètres

au plafond de 22 mètres, et à la profondeur générale de 8 mètres au-dessous du niveau de la Méditerranée.

Le bassin du port de Port-Saïd, carré de 800 mètres de côté et d'une surface de 64 hectares qui doit être également creusé à 8 mètres, rentre aussi dans ce premier lot.

Tracé du canal (Pl. 42, *fig.* 1). — L'origine du canal se trouve dans l'axe du port. Le tracé se développe d'abord suivant une courbe de 3,000 mètres de rayon et de près de 3 kilomètres de longueur, puis sur 40 kilomètres suit une ligne droite formant un angle de 4° environ avec le méridien. On arrive ainsi au point dit Kantara (le pont) qui, par sa position entre les lacs Menzaleh et Ballah, est le passage habituel des caravanes allant du Caire en Syrie. Un campement important y a été établi.

On a rencontré, au kilomètre 14, le campement de Raz-el-Ech, et au kilomètre 38 le point nommé le Cap, parce qu'en effet le canal coupe en cet endroit un cap qui s'avance dans le lac Menzaleh, et forme un seuil de 6 kilomètres de long et de 1 à 2 mètres de hauteur. Ces deux points sont intéressants : le premier est tout près du passage de l'ancienne branche Pélusiaque du Nil, qui y a laissé un dépôt de vases fluantes de 2 kilomètres de long sur une profondeur de plus de 15 mètres, puisqu'à cette profondeur la sonde n'a pas trouvé le terrain solide. Le second se fait remarquer par la nature glaiseuse et compacte de la terre, qui adhère très-fortement aux godets des dragues, et aussi par la présence de dunes mobiles, dont les sables ont été souvent entraînés déjà dans le canal à petite section qu'on a creusé tout d'abord, pour la facilité des communications et des transports entre Port-Saïd et Ismaïlia.

Depuis Kantara (kilomètre 44) jusqu'à la fin des lacs Ballah, lieu appelé El-Ferdane (kilomètre 61), le canal suit une ligne sinueuse et traverse de distance en distance des dunes peu élevées et de peu de longueur.

Profil en long. — La profondeur de ces lacs n'est pas considérable; dans la partie la plus rapprochée de la mer, à Port-Saïd, la cote d'eau moyenne ne dépasse guère $0^m,80$; elle n'est que de $0^m,20$ à $0^m,30$ depuis Raz-el-Ech jusqu'au Cap; souvent même, lors des basses eaux du Nil, cette partie est à peu près à sec.

Travail a effectuer.—Le travail à effectuer consiste dans l'enlèvement de 300^{mc} par mètre courant en moyenne. Ce serait donc, pour tout le lot des 61 kilomètres, environ 18 millions de mètres cubes à extraire. Le tiers à peu près doit être déposé latéralement pour la formation des berges, dans les parties immergées. On peut déposer le reste de même en cavaliers, ou bien s'en débarrasser d'une manière quelconque.

Le cube à extraire pour le creusement du port sur la Méditerranée est

d'environ 5 millions de mètres. Une partie du produit de ce dragage doit servir à former le remblai sur lequel se trouvera la ville de Port-Saïd.

NATURE DES TERRAINS TRAVERSÉS. — Les terrains traversés sont généralement faciles à draguer.

A Port-Saïd et à l'origine du canal jusqu'au sixième kilomètre, le sable domine. Ce sable est très-fin, presque pur, surtout en quelques endroits où il est comparable à du grès décomposé. Il est alors, grâce à l'action de l'eau, excessivement dense et compacte et souvent des pieux en chêne fichés à moins de $0^m,30$, par un premier battage, ne s'enfoncent plus sous le choc d'un mouton de 250 kil. tombant de 2 mètres de haut.

Entre le sixième kilomètre et Raz-el-Ech, c'est l'argile légère qui domine. D'abord mélangée avec un peu de sable et donnant des remblais assez consistants, elle devient presque pure à l'approche de l'ancienne branche de Péluse, et se montre alors comme une terre très-légère, très-fluante, mêlée souvent de bancs de coquillages, et ne durcit qu'après une exposition à l'air assez prolongée.

Depuis le kilomètre 18 jusqu'au Cap, l'argile et le sable mélangés en de bonnes proportions composent une terre facile à draguer, et formant assez promptement un remblai solide.

Enfin, la série des terrains du lac Menzaleh se termine par les glaises dont j'ai parlé plus haut.

On a rencontré accidentellement des grès agglomérés très-durs et souvent coquilleux. Il en existe à ma connaissance deux bancs assez forts, l'un au kilomètre 3, de près de 300 mètres de long, l'autre entre les kilomètres 5 et 6, un peu moins étendu. Tous deux sont à une profondeur de 3 à 5 mètres, ils n'ont guère que $0^m,50$ ou $0^m,60$ d'épaisseur, et en prenant des précautions on peut les enlever à la drague.

Les terrains des lacs Ballah sont d'un caractère un peu différent. Ce n'est plus l'argile qui se mêle au sable, ce sont les marnes, et particulièrement les marnes gypseuses; le sable y est du reste moins fin, moins compacte, moins dense. On a rencontré dans ces lacs des bancs de gypse d'une assez grande longueur, 4 kilomètres, et d'une épaisseur moyenne de $0^m,90$ à 1 mètre. Ils étaient à la surface et ont pu être enlevés à sec dans le moment des basses eaux du Nil.

Il était nécessaire de bien définir les conditions du tracé et la nature des terrains à traverser avant que de procéder à l'examen que nous allons faire maintenant des meilleurs moyens à employer pour l'exécution rapide des travaux.

DIVISION EN TROIS PÉRIODES. — Reprenant les opérations à l'origine, je diviserai le travail en trois périodes :

1° Creusement d'une rigole à petite section devant établir une communication par voie d'eau entre Port-Saïd et Ismaïla, et formation des ber-

ges suffisantes pour garantir momentanément cette rigole. Cette période est accomplie aujourd'hui.

2° Formation des berges définitives (dans les parties sous l'eau), au moyen des déblais provenant de l'approfondissement du canal à 3 ou 4 mètres sur toute sa largeur.

3° Enlèvement du surplus du terrain jusqu'à 8 mètres de profondeur.

PREMIÈRE PÉRIODE.

CREUSEMENT DE LA RIGOLE ; *premières berges.* — La première préoccupation dut être, en effet, de créer sur toute la ligne des travaux une voie navigable assurant la facilité des communications et des transports, et pour cela la marche la plus rapide était la meilleure.

Dans les parties à sec, pendant une partie de l'année, cette première rigole se fit à bras d'hommes, et la levée assez faible provenant d'une fouille de $1^{m},50$ de profondeur sur 8 mètres de largeur en moyenne, soit un cube de 12 mètres, suffit pour protéger ce travail lors des hautes eaux.

Mais dans les parties plus profondes, le cube du dépôt devait être plus considérable. En hiver, en effet, le lac Menzaleh, et plus rarement les lacs Ballah sont sujets à des accroissements de niveau très-brusques de près de $0^{m},50$, causés par l'alternance des vents d'ouest qui sont généralement très-violents et soufflent de la mer, et des khamsins ou vents du désert. Les premières berges devaient donc non-seulement combler la profondeur d'eau existante, mais émerger de près de 1 mètre au-dessus du niveau pour résister aux véritables tempêtes soulevées dans les lacs.

On remarqua, en outre, qu'elles résistaient d'autant mieux aux vagues, que leurs talus étaient établis sous un angle plus faible. On fut donc conduit, pour les parties atteignant la profondeur moyenne de $0^{m},80$, à adopter le profil dessiné (fig. 2), qui représente un cube de près de $20^{m.c.}$ par mètre courant, et cela sur le côté est aussi bien que sur le côté ouest du canal. C'était donc un cube de $40^{m.c.}$ par mètre courant à effectuer, représentant deux fouilles de 2 mètres d'épaisseur et 10 mèt. de largeur moyenne.

Comme je l'ai dit déjà, ce travail est fait aujourd'hui et assez assuré pour que l'hiver dernier n'ait donné lieu à l'ouverture d'aucun *bogaz*.

« *Bogaz* veut dire gosier. Les Arabes désignent par ce mot les solutions de continuité qui existent dans les terres circonscrivant les différents bassins des lacs, et aussi les ouvertures par lesquelles ces bassins communiquent avec la Méditerranée. On l'a appliqué aux brèches qui se formèrent dans les premières berges alors qu'elles n'étaient pas assez fortes pour résister à l'action des eaux soulevées par les vents. Ce fut naturel-

lement aux points où le courant avait le plus de force et où les terres étaient le plus meubles que ces accidents se produisirent, et l'action du courant se continuant encore après la destruction de la berge amena, souvent en très-peu de temps, des profondeurs d'eau considérables qui allèrent jusqu'à 6 mètres à certains bogaz. »

SECONDE PÉRIODE.

Son importance.—Pour arriver aux berges définitives représentées par le profil (fig. 3), qui exige des cubes de 44 m. et 80 m., pour les côtes d'eau $0^m,00$ et $0^m,80$, on voit qu'il faudrait encore extraire du canal sur chaque rive $44-12=32^m$ dans les parties à fleur d'eau, et $80-20=60^m$ dans les parties immergées.

On est donc conduit, pour compléter la formation des deux berges définitives, à une extraction de 64^m et 120^m par mètre courant, suivant les profondeurs.

Or, sur les 61 kilomètres d'étendue des lacs, on peut compter que chacune des deux conditions que je considère se trouve remplie sur une longueur de 20 kilomètres.

L'importance du travail à faire dans cette seconde période serait donc

d'une part : $64^{mc} \times 20\,000^m = 1.280.000^{mc}$
d'autre part: $120^{mc} \times 20{,}000^m = 2.400.000^{mc}$

} soit 3.680.000 mètr. cubes.

Ce serait la production de douze grandes dragues, pendant un an, à 1.000^{mc} par jour.

En ajoutant à ce chiffre les 1.280.000 mètres cubes déjà extraits pour la formation des premières berges sur les 40 kilom. dont nous nous occupons, on arrive à 4.960.000 mètres cubes, soit 5 millions de mètres; ce qui correspondrait au creusement du canal sur toute sa largeur à une profondeur moyenne de 3 mètres.

TROISIÈME PÉRIODE.

Je ne me suis pas occupé des portions élevées au-dessus du niveau de l'eau dont l'extraction rentrerait dans la troisième période des travaux, dans laquelle le canal serait approfondi à 8 mètres dans toute l'étendue des lacs, et qui aurait une importance de 13.000.000 de mètres cubes.

Avantages de la division en trois périodes. — Avant de passer à l'examen des modes d'exécution de ces trois périodes, j'insisterai sur les avantages que présente cette division dont le caractère principal est

de se préoccuper de l'achèvement complet des berges avant de creuser, à proprement parler, le canal.

Et d'abord, par le fait même de la fouille, on jouira, sur toute la largeur, d'une profondeur d'eau assez considérable qui facilitera les transports des engins quels qu'ils soient, destinés au travail final, et les déplacements des dragues.

On pourra employer les bateaux à clapets de fond, allant décharger en mer, et leur donner les grandes dimensions, essentielles à leur emploi économique. Si, au contraire, on veut déposer les déblais sur les berges, on pourra reporter tout le travail sur l'une d'elles seulement, ce qui simplifiera l'installation des chantiers; la solidité de ces berges donnera du reste une grande séçurité pour tous les travaux, sous le rapport de l'action des coups de vents et des crues du lac, et elle permettra d'asseoir les appareils d'une façon plus stable, et par conséquent meilleure.

En un mot, on travaillera plus sûrement et plus vite. Je crois donc cette marche bonne à suivre, quel que soit le programme d'exécution auquel on s'arrête.

EXÉCUTION DE LA PREMIÈRE PÉRIODE.

Dragues a couloir. — Le moyen qui se présentait tout naturellement pour l'ouverture de la rigole à petite section, formant le premier travail à faire, était l'emploi de la drague à couloir, laissant glisser directement jusqu'à la berge les produits dragués.

C'est celui qu'on a suivi. Il est simple et commode. Il n'y a qu'un seul chantier de fouille et de dépôt. La drague porte elle-même l'appareil de transport des déblais. On profite de la hauteur à laquelle on a dû les élever, et de leur gravité pour les déposer à une certaine distance du point de leur déversement. Cette distance est relativement faible, c'est ce qui restreint l'emploi de ce procédé, mais on peut, par des dispositions signalées par l'expérience, la rendre assez grande pour atteindre le but spécial que l'on se propose ici.

Dès l'abord on n'employa les couloirs qu'avec une certaine hésitation. On n'osait pas les faire trop longs : peut-être leur inclinaison n'eût-elle pas été assez forte pour permettre l'écoulement des terres. On pouvait craindre, malgré l'emploi d'un contre-poids qu'ils n'entraînassent la drague à fond, dans le cas où ils viendraient à s'engorger. Bref, les premiers n'eurent guère que 6 ou 7 mètres de longueur. Ils étaient en bois et assez lourds,

Sous ces faibles dimensions ils ne pouvaient rendre tout ce qu'on en

attendait. En effet, c'est à peine s'ils permettaient de donner à la rigole creusée la largeur nécessaire au *papillonnage*. Le cube extrait par mètre courant n'était pas assez considérable pour former des berges de hauteur suffisante, et les premiers coups de ent d'hiver élevant les eaux du lac au-dessus de ces berges, les détruisirent en beaucoup de points.

EXPLICATION DU PAPILLONNAGE. — Le mode de dragage par papillonnage, dont je viens de parler, consiste à donner à la drague un mouvement de rotation autour de son centre, de telle sorte que l'extrémité de l'élinde décrive un arc de cercle, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. A l'extrémité de chaque rotation s'opère l'avancement.

Ce mouvement est obtenu par l'action de quatre treuils d'angle dont les deux opposés en diagonale virent leur câble tandis que les deux autres le mollissent.

On conçoit que pour ce mode de travail, la largeur du chenal creusé ne doit pas être seulement celle de la drague, sans quoi elle ne pourrait pivoter et toucherait latéralement, vu le peu de profondeur du fond.

Or, l'extrémité du couloir ne pouvant dépasser l'alignement du bord pour ne pas déverser les déblais dans la rigole déjà ouverte, plus il sera court, plus il diminuera l'amplitude de la rotation.

C'est ce que montre la fig. 4 de la Pl. 42.

L'extrémité du couloir décrivant l'arc ab, l'extrémité de l'élinde décrit AB, et donne au chenal une largeur égale à Bc. Si, sans rien changer aux autres parties de la drague, on allonge le couloir de manière à lui faire décrire l'arc $a'b'$, en le maintenant toujours, bien entendu, dans l'alignement MN, l'élinde décrira le nouvel arc $AB' > AB$, et la largeur obtenue sera $B'c'$.

La fouille étant plus large, le cube extrait par mètre courant devient plus grand, et les berges peuvent être assez fortes pour résister aux tempêtes. Il y avait donc intérêt à allonger autant que possible les couloirs, c'est ce à quoi l'on visa. On leur donna moins d'inclinaison et plus de longueur, et, en ayant soin de monter avec le terrain une certaine proportion d'eau, les déblais glissèrent bien.

De 7 mèt. on passa ainsi et successivement à 12 mèt. On remplaça dans la construction du couloir le bois par la tôle, ce qui le rendit plus léger, et, sans changer son inclinaison, on put donner plus de hauteur au remblai. On vit qu'on pouvait encore augmenter la longueur et, sur ma demande, on munit une drague, celle portant le n° 6, d'un couloir en tôle de 15 mètres en dehors du bateau, ce qui équivalait à 18 mètres depuis l'axe, cela permit d'atteindre à une largeur de fouille de 24 mètres. L'inclinaison ne dépassait pas 0^m,10 par mètre sur la plus grande partie de la longueur, mais le tablier qui recevait la terre à sa tombée du godet avait une pente de plus de 45°, et se raccordait à la pente générale de 0^m,10 par une forme adoucie. Enfin son mode de suspension était l'en-

ploi de chaînes se réunissant au sommet d'une bigue haubannée sur la drague.

Contre-poids. — Le couloir seul pesait 1500 kilogrammes environ; chargé de sable sur toute sa longueur, ce qui formait un cube de près de 3^{mc}, son poids était de 9000 kilogr. et s'exerçait à une distance de 6 m. en dehors du bateau. Le moment de cette force était, comme on le voit, considérable, et je dus me préoccuper de l'établissement d'un contre-poids ne permettant qu'une oscillation assez faible pour que dans le cas même d'une rupture on n'eût jamais à craindre le naufrage de la drague.

Pour cela je le composai d'un grand chaland suspendu à une bigue reliée par de forts tirants de fer à la bigue de suspension du couloir. Ce chaland était de telle surface et lesté de telle sorte que ses oscillations ne pouvaient dépasser $0^{m},50$, et celle de la coque de la drague $0^{m},20$ en hauteur.

Dans la position d'équilibre il flottait tout en tendant sa chaîne de suspension. Le couloir venait-il à s'engorger et à entraîner la drague de son côté, le chaland sortait de l'eau et agissait par le poids de son lest d'autant plus qu'il se soulevait davantage. Le couloir une fois dégagé, le contre-poids l'emportait et ramenait la drague à l'équilibre.

Mais il fallait craindre que le déblayement du couloir s'effectuant brusquement, ou même que la rupture d'une des chaînes de suspension ayant lieu la réaction n'entraînât la drague de l'autre côté. C'est alors que la grande surface du chaland qui était de 24^{mq}, donnait une grande sécurité; car une petite immersion, $0^{m},10$ par exemple, produisait un déplacement d'eau très-fort, $2^{mc},400$ dans l'hypothèse actuelle, ce qui annulait presque aussitôt la vitesse acquise.

Dans ces conditions les godets montant 2/3 de sable et 1/3 d'eau en volume, on a pu marcher très-régulièrement et effectuer un déblai de 8 à 10,000^{mc} par mois, ce qui fait de 350 à 400^{mc} par 10^{h} de travail effectif avec une largeur de fouille, en gueule de 24^{m}, y compris les éboulements, et une profondeur de 3 mètres, dans du sable fin et compacte, peu argileux, assez lourd par conséquent, et qui avait une assez forte tendance à adhérer au couloir.

Les dispositions que je viens d'indiquer permirent d'achever facilement la première partie du travail, à savoir la formation de berges assez solides pour résister momentanément. Il ne s'est formé l'hiver dernier aucun *bogaz;* on a dû seulement renforcer quelques points relativement faibles.

EXÉCUTION DE LA DEUXIÈME PÉRIODE.

LONGS COULOIRS.—Les résultats que j'ai obtenus par l'emploi des dispositions dont il vient d'être question m'ont amené à penser que l'on pourrait, avec les grandes dragues construites par les Forges et Chantiers de la Méditerranée et par la maison Gouin, arriver à terminer le travail de la deuxième période, c'est-à-dire la confection définitive des berges dans les 40 kilom. où les terres sont immergées ou à fleur d'eau par l'emploi des couloirs.

En effet, que le couloir soit assez long pour que l'on atteigne, par voie de papillonnage la demi-largeur du canal en déversant toujours sur la berge, on pourra par deux opérations faites l'une sur le côté ouest, l'autre sur le côté est, en draguer toute la largeur.

Que d'autre part on ait le moyen (par l'addition aux terres draguées d'une quantité d'eau suffisante, par exemple), de faire glisser les déblais sur ce long couloir, on profitera de la grande hauteur à laquelle on doit les élever et de leur gravité pour en opérer le transport jusqu'à la berge. Il faudra en outre que leur répartition sur la berge se fasse d'elle-même et sans embarras.

Ces conditions peuvent être aisément remplies.

LONGUEUR DU COULOIR. — Quelle serait d'abord la longueur de couloir nécessaire?

On se rend facilement compte que dans le mode de dragage par papillonnage, la plus grande largeur de fouille à laquelle on puisse atteindre en suivant un alignement voulu, est donnée par l'hypothénuse du triangle rectangle construit sur les projections horizontales de l'élinde et du couloir, et correspond à la position perpendiculaire de cette ligne sur l'alignement désigné.

L'épure (Pl. 42, fig. 5), démontre en effet que lorsque la ligne AB, hypothénuse du triangle AOB sera perpendiculaire à la berge MN, on aura la plus grande largeur possible.

Or l'élinde des nouvelles dragues, posée pour donner 4 mètres de profondeur (maximum de ce que nous devons atteindre dans la seconde période) se projette suivant 20 mètres depuis le point où le godet monte jusqu'à l'axe de la trémie où il se déverse.

D'autre part, le profil montre que la crête extrême du talus, point que ne doit pas dépasser le couloir est à 33 mètres de l'axe du canal. Les éboulements donnent la facilité de se retirer d'au moins 2 mètres en avant de cet axe; mais il faut aussi se donner la latitude d'un mètre de plus de longueur pour ne pas déverser en dedans des berges. L'hypo-

longueur du couloir, combinée d'après les deux chiffres précédents sera

$$\sqrt{32^2 - 20^2} = 25^m$$

à partir de l'axe. La demi-largeur du bateau étant 4 mètres le porte-à-faux sera de 21 mètres, c'est-à-dire 6 mètres seulement plus fort que celui du couloir de la drague n° 6, dont j'ai parlé, lequel était de 15 mètres.

L'épure établie sur ces dimensions montre, en outre, que les mouvements de la drague s'exécuteraient très-bien et sans aucune entrave.

Possibilité des longs couloirs.—La question se réduit à savoir si l'adjonction aux nouvelles dragues d'un tel couloir est exécutable pratiquement, et si les terres couleront sur la pente qu'il doit avoir pour déverser les remblais à la hauteur adoptée pour les banquettes, qui est de deux mètres au-dessus du niveau de la mer.

Les faits que j'ai rapportés plus haut de la drague n° 6, qui a 27 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur, une charpente en bois de 7 mètres seulement d'élévation au-dessus du pont et qui ne cale pas plus de 1 mètre d'eau, ne peuvent laisser de doute sur l'affirmation de ces deux questions.

Installation.—Quant à la première, l'installation d'un couloir de 25^m est très-pratique à bord des nouvelles dragues. Leurs dimensions, 30^m de long, 8^m de large, 1^m,50 de tirant d'eau, 3^m de hauteur sous pont et la stabilité qui en résulte; la hauteur de la charpente, qui est de 7^m,50 au-dessus du pont, et de 9^m au-dessus du niveau de l'eau; enfin, la solidité de toutes les parties de la construction entièrement en fer, rendent l'établissement d'un tel couloir, de sa suspension et de son contre-poids, beaucoup plus certain que celui du même appareil de 18 mètres seulement sur la petite drague citée.

La fig. 6 représente la disposition qui serait employée.

La hauteur de 9 mètres au-dessus du plan d'eau se divise ainsi : 2^m,50 pour la berge, 2^m,50 de hauteur à 0^m,10 de pente, sur 25^m, et 4 mètres pour la trémie et le déversement des godets; j'insisterai plus loin sur la forme de cette partie.

L'emploi des bigues pour la suspension du couloir et de son contre-poids donne une grande facilité pour cette installation. Leurs parties supérieures sont réunies entre elles et à la charpente par de forts tirants qui établissent la solidarité de tout le système.

Les dimensions du contre-poids seraient calculées d'après les règles que j'ai déjà posées pour empêcher les oscillations trop considérables de l'appareil.

Écoulement des terres. — Passons à la seconde question : les terres couleront-elles sur une pente de $0^{m},10$ par mètre?

L'expérience de la drague n° 6 ne laisse aucun doute sur ce point, si la forme du couloir est bonne et si l'on ajoute suffisamment d'eau au produit dragué, sable ou vase.

Rôle de l'eau. — L'eau agit ici de deux façons :

1° Comme matière lubréfiante pour vaincre l'adhérence et diminuer le frottement du terrain sur la surface du couloir;

2° Par son poids et sa puissance vive pour déterminer la masse au mouvement et l'entraîner. La trémie doit être disposée de manière à favoriser ces deux actions.

Forme de couloir.— La pente de la dalle qui reçoit la contenance du godet doit être d'au moins $0^{m},80$ à 1 mètre par mètre pour que les matières, qui sont animées d'une certaine vitesse acquise, ne s'arrêtent pas brusquement, mais au contraire continuent leur mouvement en poussant celles qu'elles rencontrent.

La dalle doit se raccorder ensuite par une courbe adoucie avec la pente générale du couloir. C'est dans cette partie que les déblais se réunissent, s'humectent d'eau et prennent l'état désagrégé qui leur est nécessaire pour être entraînées.

Quantité d'eau. — La quantité d'eau nécessaire peut être estimée au plus à la moitié du produit dragué. La drague devant fournir 400^{mc} à l'heure, il faudrait donc élever dans le même temps 50^{mc} d'eau. Elle serait amenée par des pompes qui lui donneraient une vitesse d'origine correspondant à 6 ou 8 mètres de hauteur.

Calcul de la force d'entraînement. — Un calcul bien simple prouvera la possibilité de cette assertion de l'entraînement des terres par la quantité d'eau énoncée.

Pour me placer dans les conditions les plus défavorables, je les suppose en repos, n'ayant rien conservé de la puissance vive qu'elles ont acquise en tombant du godet, et j'admets qu'elles sont compactes et nullement désagrégées.

Il faudra pour produire le départ que la puissance vive de l'eau amenée soit plus grande que le travail dû au frottement des terres sur le couloir.

Or, la drague doit produire 400^{mc} à l'heure, ou 1600 litres par minute répartis en 10 godets de chacun 160 litres.

A chaque motte de déblai de 160 litres pesant environ 400 kil. correspond un volume d'eau moitié moindre, soit 80 litres ou 80 kil. Ce poids d'eau possédant une vitesse correspondant à une hauteur de 7 mètres, sa puissance vive est 560^{kgm};

Le travail dû au frottement des 400 kil. de terre sur le couloir sera le produit des éléments suivants :

1° La valeur de ce frottement;

2° La vitesse que l'on doit communiquer au déblai pour assurer son écoulement d'une manière constante.

La valeur du frottement sera 320^k en adoptant pour coefficient 0,80. (D'après Poncelet, celui de calcaire bouchardé sur calcaire bouchardé n'est que 0,75).

Pour savoir la vitesse d'écoulement que nous devons avoir au minimum, supposons que le couloir ait $1^m,20$ de large, et que la couche de terre ait une épaisseur de $0^m,10$; 1600 litres de déblai + 800 litres d'eau, soit 2400 litres, doivent passer par minute dans cette section, soit 40 litres par seconde. La vitesse sera donc $\frac{0^{mc},040}{0^{mq},12} = 0^m.33$.

Le travail de frottement à cette vitesse serait $\frac{320^k \times 0,33^2}{2g} = 2^{kgm}$. à peine.

On voit que, dans les circonstances les plus défavorables au départ, la puissance vive de l'eau sera près de 300 fois plus forte que le travail dû au frottement.

La vitesse que l'on communiquera aux déblais sera

$$\frac{320^k + 80^k}{2g} \times V^2 = 560^{kgm},$$

d'où $$V = 5^m,25.$$

(La vitesse d'entraînement du sable fin, d'après Dubuat, est $0^m,305$; celle des argiles, $0^m,152$; celle des terres détrempées, $0^m,076$).

Aussitôt que le mouvement sera produit, les terres se délayeront, glisseront mieux, gagneront de vitesse en suivant la pente du couloir et seront entraînées comme dans un véritable torrent.

De plus, par le fait de cette vitesse acquise, qui est, ainsi que je viens de le calculer, d'au moins $5^m,25$ par seconde, les terres en tombant du couloir formeront dans la berge des rigoles qui continueront le courant et porteront les produits à plus de 40 mètres du point de tombée.

Ce chiffre, de plus de 40 mètres de base pour les talus obtenus dans ces conditions, est un fait d'expérience que je garantis pour l'avoir dépassé à Port-Saïd, même dans des sables assez compactes. En traversant une couche de terrain vaseux, les talus se sont étendus jusqu'à 60 m. Pour les sables, un ou deux Arabes au besoin favorisaient la formation des rigoles dans la berge; mais je pense qu'en employant la quantité d'eau que j'indique on pourrait se passer de cet aide.

FORCE EMPLOYÉE PAR LES POMPES. — On pourrait craindre que le débit de 50^{mc} d'eau par heure n'exigeât une trop grande dépense de force motrice. Nous pouvons la calculer. On puiserait l'eau à 8 mètres du point où elle serait élevée, et on lui donnerait, ainsi que je l'ai dit, une vitesse d'origine correspondant à une hauteur de 7 mètres. On aurait donc à élever 50^{mc} d'eau par heure, soit 15 litres par seconde à 15 mètres de hauteur. Le travail nécessaire serait $15 \times 15 = 225^{kgm}$. Et en ne supposant aux pompes qu'un rendement de 40 p. 100, ce serait 560^{kgm} à dépenser, soit 600^{kgm}.

Or, les machines des nouvelles dragues sont de 34 chevaux de 200^{kgm}. On leur prendrait donc 3 chevaux seulement pour l'élévation de l'eau.

AVANTAGES DU PROCÉDÉ.— D'après ces calculs et d'après ce que j'ai vu, je considère comme très-pratique l'emploi de ce mode de transport transversal des terres. Je n'insisterai pas sur les avantages qu'il présente sur tous les autres procédés, comme simplicité d'installation et de conduite du chantier, ils sont évidents. C'est aussi celui qui donnera les meilleures berges par le fait qu'elles seront obtenues sous des angles très-faibles. L'eau aidera au tassement immédiat de la berge dans les parties sableuses, et elle ne nuira pas à son durcissement dans les endroits vaseux. Sauf des points très-rares, les berges, au bout de quinze jours ou un mois, seront suffisamment sèches pour qu'on puisse s'en servir.

PRIX DE REVIENT.— Je crois utile de joindre ici un prix de revient que j'ai calculé pour l'application de ce système de dragage avec une des grandes dragues des Forges et Chantiers ou de la maison Gouin.

DÉPENSE MENSUELLE POUR UNE DRAGUE.

1° *Personnel.*

1 employé surveillant,	par mois.				500^{f}	
1 dragueur	—				400	
1 aide dragueur. . . .	—				250	
1er mécanicien.	—				400	
2^{e} mécanicien.	—				300	
Aide mécanicien,	par jour	6^{f} 00,	par mois. . . .		180	ci 3,650^{f}
1er chauffeur	—	5 00	—		150	
2^{e} chauffeur	—	4 00	—		120	
Aide chauffeur	—	2 50	—		75	
8 manœuvres	—	5 00	—		1,200	
2 mousses	—	2 50	—		75	

2° *Consommation.*

Marche 12^{h} par jour et 25 jours par mois.
Machine de 35 chevaux marins.

Dépense de charbon, 8[k] par force de cheval et par heure.

Soit $35^c \times 12^h \times 8^k \times 25^j = 84^T$ à $60^f = 5040^f$
Huile, graisse, étoupes . . . . . 360^f } ci. . . $5,400^f$

3° *Entretien.*

Soit toute la chaîne dragueuse à remplacer deux fois par mois.
La chaîne a 25 godets 50 maillons mâles.
(Portant bagues) 100 — femelles.
100 boulons.

Donc par mois :

200 bagues $\times$ $0^k,5 = 100^k$ à 3^f tout posé 300^f } $1,100^f$ } $3,550^f$
200 boulons $\times$ $2^k = 400^k$ à 2^f — 800 }
Rondelles, goupilles, vis, outillage, burins, marteaux, etc. 300 }
Usure des maillons, tourteaux, godets. . . . . 2,150 }

4° *Transport.*

A 60^{km} en moyenne aller et retour et à $0^f,10$ la tonne.

Charbon . . . . . 84^t
Matériel . . . . . 16 } $150^t \times 60^k = 9,000^{tk} \times 0,10$ ci. 900^f
Divers . . . . . 50 }

5° *Accidents.*

Grosses réparations, imprévu 1/10 par an, soit par mois. . . $2,500^f$

Dépense mensuelle. . . . . $16,000^f$

Produits.

Soit $1,000^{mc}$ par jour et 24 jours par mois.

Produit mensuel. . . . . $24,000^{mc}$

Prix de revient $0^f,67$.

Amortissement du matériel en trois années :

Soit une drague avec bachots, couloir, contre-poids, toute équipée, $,000^f$ ci par an. . . . . $100,000^f$

Ci par mois. 8,333

Par mètre cube . . . . . $0^f,33$

Prix de revient y compris l'amortissement. . . $0,67 + 0,33 = 1^f,00$

Frais généraux soit 25 p. 100. . . . . $0^f,25$

Prix de revient final. . . . . $1^f,25$

EXÉCUTION DES TRAVAUX DE LA TROISIÈME PÉRIODE,

CREUSEMENT DU CANAL A SES DIMENSIONS DÉFINITIVES.

BATEAUX A CLAPETS.—Plusieurs moyens se présentent pour transporter les déblais que l'on ne peut plus déverser directement sur la berge. Le plus simple par la facilité qu'il donne au chargement et au déchargement, par l'absence à peu près complète de perte de temps, par le peu de complication des manœuvres, est certainement l'emploi de bateaux à clapets de fond, allant déjeter les produits en mer. Comme l'énonce M. Flachat dans son mémoire, l'application du touage le rend encore plus pratique et économique. Malheureusement ce moyen ne peut être général. Le peu de profondeur des lacs ne permet pas la décharge par ce moyen sur la ligne des travaux et circonscrit l'emploi de ce procédé aux points peu éloignés de la mer. Cependant, c'est évidemment celui à employer pour l'enlèvement de toutes les terres du bassin de Port-Saïd qui ne serviront pas au remblai de la ville; et il est à présumer qu'il serait avantageux à l'origine du canal jusqu'à une distance de 7 kilomètres au moins.

En effet, en comptant avec le touage sur une vitesse de 3 kilom. à l'heure, la distance de 7 kilom., plus celle de 2 kilom. nécessaire pour aller assez au large pour le déchargement des terres, serait franchie en trois heures. En employant le même temps pour la décharge et le retour on pourrait faire par jour deux voyages de six heures chacun, ce qui n'exigerait pas un matériel trop considérable. Il se composerait en outre des toueurs nécessaires au remorquage, de barques pouvant contenir, je suppose, le produit d'une heure de dragage, soit 100^{mc}. Douze barques suffiraient par drague, en faisant deux voyages par jour.

AUTRES APPAREILS. — Au delà du septième kilomètre, plus ou moins suivant son prix de revient et pour la formation du remblai de Port-Saïd il faut employer d'autres modes de décharge des déblais. Ce seront les grues fixes ou roulantes, les drops, les toiles sans fin, les plans inclinés.

GRUES.— Les grues ont été employées jusqu'ici au canal de Suez. Elles ont été presque condamnées, ici même, par l'ingénieur en chef de la Compagnie, M. Sciama. Je n'insisterai donc pas beaucoup sur leur emploi. Théoriquement, c'est un appareil qui élève les déblais beaucoup plus haut qu'il n'est nécessaire. Pratiquement, il est compliqué, sujet à une usure considérable, à des accidents, à des réparations et par co

n'a pas de stabilité; si elle est fixe, elle exige une double décharge et se prête difficilement au prompt départ des produits. Si elle est roulante et déverse elle-même les déblais sur la berge, elle exige des terrassements faits avec soin en avant d'elle, pour être bien assise. Dans les parties vaseuses, son emploi est presque impossible par le peu de consistance du sol. La grande volée (8 ou 10 mètres) qui lui est nécessaire pour prendre les caisses dans les chalands et former le cavalier, est une cause très-grande d'instabilité et ne lui permet pas d'effectuer ses mouvements assez vite pour qu'une seule grue puisse évacuer les produits d'une drague donnant 100^{me} par heure. D'où division du chantier, ce qui est très-fâcheux, car outre que sa conduite et sa surveillance sont plus difficiles, l'arrêt d'une des deux grues entraîne un ralentissement dans le travail de la drague et rend inactif un personnel considérable de matelots et de terrassiers.

Drop. — Le drop, prenant les wagons chargés directement sous la drague et les élevant à un plan incliné qui les dirige au point de déversement, est un appareil plus certain que la grue; mais le peu de hauteur que doit avoir le remblai dans toute la partie des lacs Menzaleh et le peu de terre à enlever sur un même point me paraissent devoir rendre son emploi peu avantageux en cet endroit, parce que les frais d'établissement qu'il exige ne seraient pas répartis sur un cube assez fort.

Toile sans fin.—La toile sans fin métallique présente l'avantage théorique de donner un transport constant de peu de déblai à la fois et de supprimer tout un matériel accessoire de chalands, caisses à déblai, wagons, etc., et le personnel assez nombreux qui y est attaché. Mais que d'inconvénients pratiques se présentent dans son emploi!

Et d'abord les terres sont assujetties à tomber toujours au même point tout le temps que la drague parcourt la largeur du canal, ce qui conduit à les déposer en cavaliers assez hauts. Or, en certains endroits vaseux, ce peut être un grave inconvénient, par la surcharge que cela donnerait aux berges. La forme du profil adopté pour les lacs, a été justement basée sur cette condition, de ne donner aux banquettes que la hauteur strictement nécessaire, et d'éviter toute surcharge qui aurait pu, dans les endroits vaseux, faire refluer les berges dans le canal.

De plus, pour l'emploi utile, il faut faire la toile sans fin très-longue, 50 mètres environ, d'où un grand nombre d'articulations; par conséquent un grand frottement et une grande usure, surtout dans le sable: d'où aussi une force assez considérable nécessaire au mouvement, un renouvellement complet des pièces qui s'usent à des termes très-rapprochés, des arrêts fréquents causés par des ruptures de boulons, maillons, etc. En un mot, la toile sans fin, telle qu'on la connaît aujourd'hui,

outre qu'elle donnerait une mauvaise forme au remblai, ne pourrait avoir, au canal de Suez, qu'une marche très-peu certaine, et y subirait une très-grande usure, son emploi ne me semble donc pas devoir s'y faire avec succès.

PLANS INCLINÉS. — Combien sont d'un emploi plus pratique et plus simple les plans inclinés établis en des points fixes, et remontant des wagons chargés directement sous la drague !

Ils sont d'une installation facile, d'une marche certaine et leur matériel, pontons, wagons, tambours, etc., est peu sujet à accident grave ou à usure. On est maître du chantier, rien n'est imprévu; s'ils exigent un plus grand personnel que les toiles sans fin, ils ont l'avantage de l'occuper constamment et de ne donner lieu à aucun arrêt.

Voici comment je suppose qu'ils seraient établis :

Les wagons seraient amenés sous la drague, au nombre de 10 et rangés sur deux lignes, par des pontons en bois d'une construction très-simple.

Chaque wagon, contenant de 3^{m} à 3^{m},50, serait chargé en 2 minutes et le ponton portant 30^{mc} le serait en 20 minutes. On déplacerait les plans inclinés assez souvent pour que la distance à parcourir par ces pontons ne soit jamais plus grande que 5 ou 600 mètres, que l'on pourrait facilement parcourir pendant le temps nécessaire à la charge d'un ponton.

Dans le même temps, vu le peu de hauteur du remblai et sa proximité du plan incliné, les 10 wagons pourraient être élevés, déchargés et ramenés sur le ponton.

Quatre pontons et 40 wagons suffiraient donc à un chantier d'une drague donnant 1,000^{mc} par jour, et chaque wagon transporterait 25^{mc}.

Lorsque la drague aurait déblayé 1 kilomètre, c'est-à-dire effectué un cube de 120 à 150,000 mètres, tous les cinq ou six mois, le plan incliné serait déplacé, ce qui se ferait facilement, la machine étant locomobile.

Les wagons seraient élevés assez haut pour permettre leur roulement jusqu'au point de déversement par leur seule gravité. Ils seraient ramenés vides par des chevaux, des chameaux, ou même mécaniquement par des treuils, et en redescendant le plan incliné, ils aideraient à l'ascension des wagons pleins.

Toutes ces manœuvres sont, comme on voit, très-simples et très-faciles. Je ne sache pas qu'on ait jamais eu d'embarras avec ces moyens lorsqu'on les a employés avec discernement.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Je me résume et je propose pour le creusement du canal dans les 61 kilomètres où le tracé traverse les lacs Menzaleh et Ballah :

1° L'achèvement immédiat des berges dans les parties immergées ou à fleur d'eau ;

2° L'emploi pour ce travail de grandes dragues munies de couloirs de 25 mètres déversant directement sur berge les produits du dragage dont le transport aurait lieu par l'action d'une grande quantité d'eau injectée par des pompes, avec une certaine vitesse de projection ;

3° En même temps que le travail précédent s'effectuerait, l'emploi des plans inclinés au petit seuil du Cap et à Port-Saïd pour le remblai de la ville ;

4° Le transport en mer par bateaux à clapets de fond avec application du touage, des déblais du port de Port-Saïd qui ne serviront pas au remblai de la ville, et des 7 premiers kilomètres du canal environ, aussitôt que les jetées de l'avant-port seront assez avancées pour permettre d'organiser ce service d'une manière certaine ;

5° Enfin, l'emploi général des plans inclinés sur le reste des 61 kilomètres aussitôt que les berges définitives seraient achevées.

Durée de travail. — Avec les 20 grandes dragues dont va disposer la Compagnie, devant donner par an chacune 300,000 mètres cubes, soit entre toutes 6 millions de mètres, et les 15 petites dragues encore en état de service et qui pourraient trouver leur emploi dans le creusement du bassin de Port-Saïd et du petit seuil du Cap, en donnant par an chacune de 80,000 à 100,000 mètres cubes, soit entre toutes 1 million de mètres cubes, on arriverait à effectuer en trois années le déblai des 18,000,000 de mètres cubes restant à enlever, en supposant qu'il y ait toujours un dixième du matériel en réparation.

Sans vouloir entrer dans le détail des travaux à effectuer dans les parties du canal, autres que les lacs Menzaleh et Ballah que je viens d'étudier, je remarquerai cependant qu'une portion notable des déblais doit être exécutée à sec, ce qui rend très-intéressante l'étude de l'emploi des excavateurs pour opérer mécaniquement la fouille et la charge en wagon. Celui que je vais décrire me paraît être d'un emploi avantageux et devoir atteindre le but qu'on se propose de réduire autant que possible le travail à faire à bras d'hommes.

DESCRIPTION DE L'EXCAVATEUR

OU

DRAGUE A PIVOT

POUR TERRASSEMENTS A SEC

applicable aux travaux de l'isthme de Suez,

CONSTRUITE PAR MM. FREY FILS ET A. SAYN.

Par **M. EDMOND BADOIS.**

DESCRIPTION. — Cet excavateur se compose en principe d'une charpente, comprenant l'élinde sur laquelle s'enroule la chaîne à godets, et pouvant se mouvoir suivant un arc de cercle horizontal. Cette charpente reçoit la chaudière et la machine qui se meuvent avec elle, et aussi tous les organes mécaniques produisant les divers mouvements que nous allons décrire. Elle est supportée par un châssis fixé sur les essieux de grands rouleaux qui posent sur le sol et doivent produire la marche de tout l'appareil. Un déversoir mobile, pouvant occuper toutes les positions d'un limbe de 180°, donne la plus grande facilité au chargement direct des produits dragués soit dans des wagons, soit dans des tombereaux. On peut aussi déposer les déblais en cavaliers parallèles à la ligne du dragage par le moyen d'une toile sans fin, mais nous ne considérerons pas ce cas.

MOUVEMENTS A PRODUIRE.—D'après cet exposé, complété par le dessin (Pl. 42, fig. 7), on voit que l'appareil doit exécuter trois principaux mouvements qui sont :

1° Celui de la chaîne à godets qui a lieu dans le plan vertical de l'élinde ;

2° Celui de giration de la charpente et, par conséquent, de la chaîne à godets, sur le châssis inférieur, lequel a lieu suivant un arc de cercle horizontal soit à droite, soit à gauche;

3° Celui de translation de tout l'appareil qui peut se produire en avant ou en arrière, dans une direction rectiligne ou circulaire.

RÉSULTATS OBTENUS. — Ces trois mouvements combinés permettent

d'exécuter avec l'appareil qui fonctionne actuellement chez M. Frey, et avec une force motrice de huit chevaux, une tranchée de 7 mètres de large sur 4 à 6 mètres de haut avec un avancement par heure de 1m,00 à 1m,50, ce qui correspond à un cube de 40 à 60 mètres par heure ou à un travail de 400 à 600 mètres cubes mesurés au remblai en dix heures. Une drague, établie sur de plus grandes proportions, pourrait atteindre une largeur de tranchée de 10 mètres, une hauteur de 6 à 8 mètres et effectuer un cube de 800 à 1,000mc par jour.

La machine motrice est horizontale et fait 120 tours par minute. Le générateur est une chaudière de locomobile à haute pression. Sur la drague même se trouvent installées une bâche à eau et une soute à charbon.

TRANSMISSIONS DE MOUVEMENT ET DIRECTION. — Le mouvement de la machine se transmet au tourteau moteur de la chaîne à godets par une courroie qui reçoit à volonté la tension nécessaire, au moyen d'un tendeur dont la manœuvre se fait par un levier à la main du mécanicien. Quand il veut produire les autres mouvements sans entraîner la chaîne dragueuse, il n'a qu'à desserrer le tendeur, la courroie se trouve alors lâche et ne fait que frotter légèrement sur la poulie de commande.

Sur l'arbre même de la machine sont installées la transmission de mouvement de la machine au pignon à crémaillère circulaire qui produit la rotation et celle aux rouleaux marcheurs.

Chacune d'elles se fait soit par poulies et courroies, soit par pignons d'angle et manchon d'embrayage dont les leviers sont également à la main du mécanicien qui est placé de telle sorte que, sans se déplacer du centre de l'appareil où il se trouve, il peut chauffer et veiller à la chaudière, voir sa machine, mettre en marche, embrayer et débrayer tous les mouvements et surveiller l'action des godets sur le terrain, s'ils mordent assez ou non, si la chaîne marche régulièrement. En un mot, un seul homme peut, avec de l'attention, conduire toute la drague, sans fatigue ni fausse manœuvre, il est à même de voir tous les accidents qui peuvent se produire et de les prévenir ou d'en empêcher les suites par l'arrêt immédiat soit d'un seul mouvement, soit de la machine.

DÉTAIL DES DIFFÉRENTS MÉCANISMES.

CHAINES A GODETS.—C'est à proprement parler l'outil. Les godets munis à cet effet d'un bec en fer forgé entament le terrain et se remplissent du déblai qu'ils déversent lorsque, arrivés au plus haut point de leur trajet, ls se renversent pour redescendre. Les terres tombent soit sur un déversoir incliné qui les fait glisser dans le wagon en chargement, soit sur une oile sans fin qui les dépose en cavaliers au point voulu. Le corps du

godet est en tôle de 3 millimètres d'épaisseur : ils sont d'une contenance de 35 litres, et passent au nombre de 30 par minute. Ils sont fixés à la chaîne au moyen de rebords qui se boulonnent sur les maillons et de deux en deux seulement. Sur les maillons intermédiaires, dans le cas d'un terrain dur, on peut fixer des pioches en fer qui rendraient la désagrégation de la roche plus facile.

L'ensemble de la chaîne et des godets s'enroule sur quatre tambours ou tourteaux polygonaux dont on voit la disposition (Pl. XLII, fig. 7). Je crois devoir appeler l'attention sur cette disposition qui constitue pour l'excavateur de MM. Frey et Sayn un de ses principaux éléments de succès. Dans les dragues ordinaires, l'élinde est droite et la chaîne dragueuse s'enroule sur deux tambours placés aux extrémités. De cette façon, il n'y a qu'un seul godet qui morde. On ne peut draguer que sur une faible hauteur au delà de laquelle les éboulements deviendraient assez considérables pour enterrer les godets, ce qui ne doit jamais avoir lieu. Dans l'appareil qui nous occupe, l'élinde est triangulaire; le sommet est sur l'arbre moteur et la base est parallèle au talus d'attaque; cinq godets mordent à la fois, sur la hauteur de 5 à 6 mètres que j'ai déjà indiquée, et cela sans causer d'éboulement dangereux, car le godet le plus avancé est aussi le plus élevé, et l'enlèvement des terres se fait dès lors suivant un talus naturel.

Le tourteau moteur est carré; ceux qui sont aux deux autres angles sont pentagonaux et le quatrième, qui n'a pour but que de relever la chaîne pour l'empêcher de frotter contre le châssis, est hexagonal. On comprend que celui qui entraîne, doive présenter les angles les plus accentués pour que la chaîne n'ait pas de tendance à décapeler.

Comme dernier détail sur la chaîne dragueuse, j'indiquerai que les trois tourteaux, autres que le tourteau moteur, sont engagés dans des glissières dans lesquelles ils peuvent se déplacer par le moyen de vis qui les règle à volonté. On a ainsi l'avantage de donner à la chaîne la tension que l'on désire, et surtout de la lui conserver malgré l'usure des maillons et des boulons de la chaîne, ce qui est une condition essentiellement favorable au bon travail.

MOUVEMENT DE ROTATION. — J'ai dit que dans ce mouvement la charpente entière avec l'élinde, la machine et la chaudière, se déplaçait sur le châssis inférieur. Cela a lieu par le glissement l'un sur l'autre de deux cercles en fer de fort échantillon, dont l'un est fixé à la charpente et l'autre au châssis. Ce dernier forme crémaillère, et c'est par cette crémaillère que s'opère le mouvement de giration. A cet effet, elle engrène avec un pignon monté sur un arbre fixé à la charpente mobile. Cet arbre est commandé par une roue à vis sans fin qui tourne soit à droite, soit à gauche par l'embrayage que j'ai déjà mentionné.

MOUVEMENT DE ROTATION.— Les deux essieux sur lesquels l'appareil est

rayons en fer forgé. Ces rouleaux ont 1m,20 de diamètre et 2 mètres de largeur, ce qui, tout en leur donnant une adhérence plus que suffisante pour entraîner la drague sur n'importe quel terrain, même en pente, leur assure aussi une surface de base assez grande pour ne pas s'y enfoncer. Sur le prolongement de chaque essieu est callée une roue dentée mise en rapport par une chaîne de Galles avec un double pignon, callé sur un arbre intermédiaire. Ce pignon tournant, par exemple, de droite à gauche en descendant, tire sur le brin supérieur de l'une des chaînes et sur le brin inférieur de l'autre, de telle sorte que les deux rouleaux sont sollicités à marcher dans le même sens. L'arbre du pignon moteur est actionné par une roue à vis sans fin, laquelle, par le moyen d'un embrayage à roues d'angle, tourne tantôt à droite, tantôt à gauche et produit sur les rouleaux soit le mouvement en arrière, soit le mouvement en avant.

De plus, on peut marcher soit en ligne droite, soit en cercle. Si les axes des deux rouleaux sont parallèles, nul doute que le déplacement n'ait lieu en ligne droite. Mais si l'on incline les deux axes l'un sur l'autre de manière à ce que, prolongés, ils se rencontrent, ils deviendront alors les rayons d'un cercle dont le centre sera justement à leur point de rencontre, et dont tout le système décrira la circonférence. Or, c'est ce à quoi l'on est arrivé et d'une manière très-simple.

A leur extrémité opposée à celle qui porte la roue à chaîne de Galles, les essieux ne sont pas fixés au châssis ; ils sont pris dans un coulisseau que l'on peut faire mouvoir dans une glissière, au moyen d'une vis manœuvrée à la main par un engrenage à vis sans fin. Cette vis a un pas à droite et un pas à gauche de manière à rapprocher ou écarter simultanément les deux coulisseaux et, par conséquent, faire converger les deux essieux dans un sens ou dans l'autre afin de produire le déplacement circulaire de l'appareil soit à droite, soit à gauche. Tout cela est simple, très-sûr et fonctionne parfaitement. Cette ingénieuse disposition a permis de supprimer la voie ferrée sur laquelle les appareils de ce genre sont généralement installés (on pourra toujours, dans un cas l'exigeant, remplacer les rouleaux par des roues marchant sur voie ferrée). Elle présente en outre les avantages suivants : pénétrer quand on le veut d'une quantité donnée dans le terrain par une manœuvre très-facile; fonctionner partout où l'on en a besoin sans préparation aucune, et se déplacer avec la plus grande aisance sans avoir recours à des forces étrangères à la machine.

Mode d'emploi de cet excavateur. — Si l'on a une tranchée à ouvrir, on peut procéder par papillonnage, c'est-à-dire à chaque fois que l'élinde a parcouru l'arc de cercle qu'elle peut décrire, faire avancer la drague de l'épaisseur d'un godet, puis renverser le sens du mouvement de rotation pour prendre la zone de terrain correspondant à la profondeur dont

on s'est avancé, et cela sur tout le développement de l'arc; puis, faire un nouveau mouvement en avant, décrire l'arc de cercle en renversant le sens de la rotation et ainsi de suite. On conçoit que l'on arrive ainsi à ouvrir la tranchée sur une largeur égale à la corde du plus grand arc que peut décrire l'élinde, et sur la hauteur que peuvent atteindre les godets.

Si l'on veut élargir cette tranchée ou faire un nivellement, on peut opérer d'une manière différente. On amène l'élinde à l'extrémité de son arc de rotation et du côté où l'on veut entamer le terrain; on la fixe en cette position et en marchant en avant, on enlève une zone de terrain sur une certaine longueur; puis, arrivé au terme que l'on s'est imposé, on pénètre d'une profondeur de godet dans le stoc, en donnant de l'inclinaison aux axes des rouleaux; puis, après avoir rendu aux essieux leur parallélisme on marche en arrière pour revenir à l'origine du travail; là on s'enfonce de nouveau d'une épaisseur de godet et on reprend le mouvement en avant. On voit qu'alors le déblai se fait par tranches parallèles au sens du mouvement. On pourrait, si l'on avait à faire ce travail sur un grand espace, construire une drague spéciale pour ce cas et qui serait bien moins compliquée, car l'on pourrait supprimer le mouvement circulaire de l'élinde qui deviendrait inutile. On pourrait aussi, sur un même châssis, placer deux ou plusieurs élindes en retraite l'une sur l'autre d'une profondeur de passe, ce qui permettrait de prendre en une seule opération une bande beaucoup plus large.

Dans l'une ou l'autre des deux méthodes indiquées, le déversement des terres peut se faire soit dans des wagons, suivant la piste même de la drague, soit dans des wagons roulant sur une voie parallèle; on peut même employer simultanément les deux dispositions.

RÉSUMÉ.—En résumé, la drague de MM. Frey et Sayn répond à toutes les exigences d'un fonctionnement mécanique et doit produire une grande économie sur les procédés actuels de piochage des terres. Il est présumable que le prix du mètre cube de déblai ne reviendra pas à plus $0^f,15$ pioché et chargé, et on peut se baser, pour cela, sur les essais faits sur la drague qui fonctionne au nouveau boulevard de Puébla, à Belleville, près des ateliers de M. Frey.

DESCRIPTION

DU

CHEMIN DE FER DU NORD DE L'ESPAGNE

PAR M. **A. BRÜLL.**

Le chemin de fer du Nord de l'Espagne a été complété cette année, et nous venons, à cette occasion, donner une description sommaire de cette ligne importante,

La Compagnie du Midi a également ouvert cette année à l'exploitation les trente-cinq kilomètres qui séparaient Bayonne de la frontière espagnole : ce chemin qui dessert Biarritz, Saint-Jean de Luz et Hendaye, suit les bords riants du golfe de Gascogne. Hendaye est la dernière station française; la première station du chemin espagnol est Irun, qui n'est distant d'Hendaye que de deux kilomètres environ : c'est dans ces deux stations que sont installés les postes de douane des deux pays.

On sait que la voie des chemins de fer espagnols est plus large que la voie française; les rails ont $1^{m},736$ d'axe en axe, au lieu de $1^{m},502$. Des raisons politiques auraient, dit-on, engagé le gouvernement espagnol à adopter une cote différente de la nôtre. Il paraît difficile de trouver aucun motif raisonnable qui légitime cette différence. Le matériel roulant ne peut passer d'un chemin sur l'autre, et il viendra un jour où cette impossibilité sera un empêchement sérieux au développement des transports internationaux.

Déjà même, la question aurait été agitée, et diverses propositions ont été faites, telles que la pose d'un troisième rail, la fabrication d'essieux spéciaux, la construction de wagons à caisse amovible, qui permettraient d'échapper, dans certains cas, à cette difficulté.

Déjà des véhicules destinés à divers chemins de fer d'Espagne ont pu être transportés roulants sur les voies françaises.

Entre Hendaye et Irun, on a posé une voie française et une voie espagnole, de sorte que les trains français vont jusqu'à Irun, et les trains venant d'Espagne arrivent à Hendaye.

La ligne traverse la Bidassoa, qui marque à cet endroit la frontière des

deux pays, un peu en amont de Fontarabie, et très-près de l'île fameuse des Faisans, très-petit îlot à peine émergent, dont les bords sont sans cesse rongés par le courant. Le pont de la Bidassoa est un pont en pierre à cinq arches, à l'aspect monumental et décoré de sculptures représentant les armes des deux nations. Des niches ont été ménagées dans la construction des culées, pour recevoir un chargement de poudre suffisant pour détruire le pont.

Le chemin de fer du Nord de l'Espagne réunit Irun à Madrid, en passant par Saint-Sébastien, Victoria, Burgos, Valladolid et l'Escurial.

Cette ligne a.	638	kilom. de long
Un embranchement de.	91	—

partant de Venta de Bâgnos se dirige sur Alar del Rey; il est continué par le chemin de fer d'Isabelle II, qui va d'Alar au port de Santander. La longueur totale du chemin du Nord de l'Espagne est ainsi de. . . . . 729 —

La région traversée par la ligne principale est divisée en quatre bassins : le bassin du golfe de Gascogne, le bassin de l'Ebre, celui du Duero et celui du Tage.

La ligne se développe dans le bassin du golfe de Gascogne, jusqu'au sommet des Pyrénées. Elle traverse d'abord le Guipuzcoa, riche province fertile et industrielle.

Parmi les plus beaux points de vue qui se présentent sur la côte, le plus splendide est sans contredit la baie de Passages, que le rail côtoie sur toute la longueur. Passages est un port de premier ordre, spacieux, abrité, communiquant avec la pleine mer par un goulet défendu contre tous les vents : il peut présenter à toute une flotte un refuge d'un sécurité exceptionnelle. Il est peu fréquenté aujourd'hui, mais les rails qui longent la côte pourraient bien hâter l'accomplissement de projets depuis longtemps entretenus, et le voyageur qui passera là dans une dizaine d'années, y verra sans doute des navires accostés à l'embarcadère du chemin de fer, apportant pour l'intérieur les marchandises de tous les ports, pour charger en échange les blés, les vins, les laines, les marbres et les minerais que les contrées voisines produisent en abondance.

Saint-Sébastien est à une vingtaine de kilomètres d'Irun. C'est une ville d'environ 8,000 âmes, bâtie dans la position la plus pittoresque, sur une presqu'île, à l'embouchure de l'Uruméa. Le port, bien abrité entre deux môles, est étroit et peu profond. Malgré ces conditions, le total de son trafic annuel dépasse 20 millions de francs.

C'est une ville assez nouvellement rebâtie, aux rues régulières, à l'aspect animé. La plage est très-fréquentée par les baigneurs; c'est un rendez-vous de plaisance pour les Espagnols du Nord et pour les Français du Midi.

En sortant de Saint-Sébastien, le tracé s'éloigne de la côte et con-

ience à s'élever doucement. Hernani, Tolosa et Villafranca présentent e nombreux établissements métallurgiques. Ce sont ces anciennes forges ux méthodes primitives qui livrent des fers de qualité si estimée. On y ıbrique aussi des armes à feu, des pointes, des tissus de coton, du pa- ier, des cordes, des toiles, du ciment, des allumettes en cire.

Beasain, à 60 kil. d'Irun, point de départ de la traversée des Pyrénées, st à la cote de 156 mètres. Le chemin, qui est à peu près au niveau de ı mer, à Irun et à Saint-Sébastien, n'y parvient qu'en traversant neuf ıis en souterrain, sur une longueur totale de 3,926 mètres, les contre- ırts dont les brusques sinuosités accidentent les vallées de la Bidassoa, e l'Uruméa et de l'Oria.

Les ponts sont aussi très-nombreux sur cette partie de la ligne; l'Oria st en particulier tellement sinueuse qu'il faut à tout instant la traverser ous tous les angles pour éviter un développement exagéré.

Tous ces ponts sont à tablier en tôle; ils ont été construits et mis en lace par la maison Ernest Gouin et Ce. Ils ont en général un aspect de gèreté qui plaît à l'œil, et leur hardiesse vaut bien la sévérité monu- ıentale des ponts en maçonnerie.

La traversée proprement dite des Pyrénées est la section comprise entre easain, dont la hauteur au-dessus du niveau de la mer est de.. . 156m
; Olazagutia ou Alsasua, situé au pied du versant sud à la côte. . 526

Le col le plus propice qu'on ait pu trouver pour franchir le faîte st le col d'Otzaurte, situé à la cote. 614

C'est d'ailleurs le point où la route de Beasain et Alsasua traverse la gne du faîte des Pyrénées.

La distance en ligne droite de Beasain à Otzaurte est d'environ 19 kil.

Les conditions d'exécution imposées à la Compagnie par l'acte de con- ession donnent pour limites les rampes de 15 millièmes et les courbes e 300 mètres de rayon. Il suffit de parcourir la montagne pour préjuger ue ces limites, surtout celles des inclinaisons, sont bien étroites, et doi- ent nécessairement conduire à un grand développement, à des travaux 'art important.

Bien qu'on soit souvent porté à supposer qu'une chaîne de montagnes levée soit d'un âge géologique fort ancien, on ne rencontre dans la tra- ersée des Pyrénées que des terrains assez récents. C'est en effet le ter- ain crétacé qui en forme la plus grande partie; le jurassique n'apparaît ue par places en crêtes qui passent à travers le terrain crétacé.

La roche des crêtes est métamorphique et se dessine en arêtes, en an- ractuosités, en déchirures; aussi le paysage est-il dans ces parties plus rdu et plus sauvage. Le sol est nu et inculte : le terrain crétacé est plus endre; les grès et surtout les schistes qui le composent se désagrégent l'air, les contours extérieurs sont arrondis : il porte une couche de erre plus ou moins épaisse recouverte de végétation. La plus grande artie des tunnels et des tranchées de la section est percée dans le ter-

rain crétacé dont la dureté n'est pas très-grande. Ce n'est qu'en quelques points isolés, comme dans les sommités ardues de Cégama, qu'on a rencontré le terrain jurassique.

Le terrain est généralement accidenté, comme tous les sols soulevés les tranchées ne montrent pas des couches régulièrement stratifiées mais bien des plissements d'une grande hauteur, sur une largeur variable, de sorte que le pendage change fréquemment de sens.

Le terrain crétacé présente des marnes assez tendres, des grès arénacés blancs jaunâtres, des schistes argileux et micacés noirs. La couche supérieure, qui est une marne assez tendre, se montre surtout entre Olazagutia et Victoria.

La seconde couche renferme un grès arénacé blanc jaunâtre, qui fournit de bonnes pierres à bâtir et des schistes argileux et micacés noirs, qui se fendillent lentement et ne peuvent être utilisés pour les constructions. Ces schistes sont en couches feuilletées, et la tendance à la séparation et au glissement est assez grande pour qu'on soit obligé, dans les tranchées, de donner à celui des deux talus qui est dans le sens du pendage une inclinaison justement égale à celle des couches.

Comme toujours, les eaux pluviales s'infiltrent entre les bancs dès que la stratification apparaît au jour.

On trouve en beaucoup d'endroits du passage des dépôts récents provenant de l'éboulement des terres superficielles et des parties les plus tendres et les plus décomposables des couches crayeuses.

Ces éboulis forment dans le fond des vallées des amas quelquefois considérables, renfermant des argiles, des marnes argileuses et des blocs de pierres perdues.

MM. Ernest Gouin et Cᵉ ont été les entrepreneurs généraux de la traversée des Pyrénées, à l'exception d'une partie du tunnel d'Oazurza.

Ces travaux ont été exécutés sous la direction de M. Letourneur, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la construction.

Le tracé s'étend d'abord à partir de Beasain en rampe de 15 millièmes sur le côté droit de la vallée supérieure de l'Oria et se dirige vers la marraga.

Un viadue à tablier métallique, à cinq travées de 280 mètres de long, supporte la voie à 31 mètres de hauteur à Ormaiztegui, et neuf tunnels successifs, dont les longueurs varient de 70 à 700 mètres, présentent sur les 12 kilomètres de cette section un développement total de 1850 mètres, soit 16 p. 100.

Le dernier de ces tunnels, celui de Zumarraga, de 700 mètres de long, traverse le contre-fort qui sépare le bassin de l'Oria de celui de l'Urola. Le chemin remonte ce torrent sur une longueur de 10 kilomètres, et parvient à Brincola sans difficultés particulières.

Les 12 kilomètres qui séparent ce point du faîte d'Otzaurte sont au contraire, la partie de la traversée où les ouvrages d'art sont les plus

rapprochés. On y compte 14 tunnels présentant ensemble un développement de 7,600 mètres, soit 63,5 p. 100 de la longueur du parcours.

Le tunnel d'Oazarsa a 2953 mètres. C'est le plus long de toute la ligne. Cet ouvrage important a été attaqué par les deux têtes et par neuf puits, dont les deux au milieu ont 223 mètres et 239 mètres de profondeur. Sans cette grande élévation du sol naturel au-dessus du souterrain à percer, on aurait pu multiplier les points d'attaque.

Le tunnel est rectiligne et présente une pente continue de 10 millimètres par mètre.

Le tunnel de 1158 mètres qui traverse le faîte d'Otzaurte a été attaqué par les deux têtes et par quatre puits.

Cette section présente encore plusieurs tranchées d'un cube considérable, et des remblais qui ont par place jusqu'à 20, 25 et même 27 mètres de hauteur. Plusieurs de ces travaux traversent ces terrains éboulés dont nous avons indiqué la nature.

D'importants travaux d'assainissement ont dû être entrepris pour éviter les éboulements. C'est par des systèmes complets de drainage, par de profondes pierrées pénétrant dans le roc solide et présentant plusieurs kilomètres de longueur qu'on a détourné l'eau des bancs de glissement. Les eaux ainsi rassemblées sont rejetées dans le bas de la vallée.

Le viaduc de la Salera traverse une vallée dont le fond est recouvert d'une couche d'éboulis argileux qui présente près du Thalweg jusqu'à 22 mètres d'épaisseur. Il fallait asseoir les piles du viaduc sur la roche solide; or, la nature de l'éboulis rendait difficile le maintien d'une excavation d'environ 10 mètres de long sur 4 mètres de large et de toute la profondeur de la couche.

On s'arrêta au moyen suivant : On perça suivant le petit axe de la section de la pile un puits vertical de 1,20 de largeur, ayant en longueur la largeur même de la pile, et partageant en deux rectangles la section de celle-ci. Des solides blindages suffirent pour prévenir tout éboulement. Ce puits étant arrivé à profondeur, soit à environ 2 mètres dans la roche solide, on excava sur trois mètres de hauteur une chambre cubique ayant pour section horizontale l'une des moitiés de rectangle de la pile. Les boisages étaient disposés comme dans le battage des galeries en terrain ébouleux. La chambre une fois creusée, on construisit la maçonnerie définitive, jusqu'à la remplir entièrement. On en fit autant sur l'autre moitié du rectangle de la pile, en garnissant aussi la section même du puits, et l'on obtint ainsi une première assise de 3 mètres. Continuant de même à se servir du puits pour l'épuisement des eaux, pour l'enlèvement des déblais et pour la descente des matériaux, on creusa successivement à droite et à gauche du puits des chambres de 3 mètres de haut, occupant une moitié de la surface de la fondation, et on les remplit de maçonnerie en retirant les bois au fur et à mesure. On parvint ainsi, en

s'élevant, jusqu'à la couche superficielle qui n'avait subi aucune déformation. La dernière assise de la fondation fut posée à ciel ouvert.

Au delà du faîte, le chemin descend pendant 10 kilomètres dans la vallée de l'Alsasua, jusqu'à Olazagutia. Cette partie de la ligne présente une succession de quatre remblais cubant ensemble 300,000 mètres cubes, sur 3 kilomètres de longueur.

C'est à Alsania que s'embranche sur le chemin du Nord la ligne de Pampelune, actuellement en construction, qui se continue elle-même par les chemins de Pampelune à Saragosse, et de Saragosse à Barcelone.

Le tableau annexe n° 1 indique l'inclinaison et la longueur des rampes et des pentes comprises dans la section des Pyrénées.

Les 46 kilomètres de Beasain à Olazagutia présentent en résumé 27 kilomètres de parties rectilignes et 19 kilomètres de courbes, dont 6k,1 du rayon minimum de 300 mètres.

Il est certain que ces conditions de tracé, que nous trouvions étroites il n'y a qu'un instant au point de vue des travaux qu'elles nécessitent, ne laisseront pas que d'exiger un puissant matériel de traction.

Le matériel roulant du chemin de fer du Nord d'Espagne est à peu près celui en usage sur les chemins de fer français; les voitures et wagons y sont seulement un peu plus larges par suite du léger excès de largeur de la voie. Pour cette raison, et aussi en prévision des causes de détérioration venant du climat extrême du pays traversé, les véhicules sont solidement établis, et par suite assez pesants. Les roues ont un mètre de diamètre, et l'écartement des essieux est fixé d'après les cotes généralement adoptées.

La question des freins prendra certainement une grande importance: il faut assurer la sécurité de la descente sur la rampe; il faut prévoir aussi le cas où pendant la montée le train viendrait à être coupé. Des freins à vis et des freins automoteurs du système Guérin sont établis sur un grand nombre de voitures et wagons.

De fortes locomotives ont été construites pour la traction dans les Pyrénées. On a cherché dans l'établissement de ces machines à éviter toute réduction dans la charge des trains sur cette section. Elles doivent pouvoir remorquer sur la rampe, grâce à une légère réduction de vitesse, les mêmes trains que les machines ordinaires du chemin qui sont des locomotives à trois essieux couplés du type Bourbonnais, pesant en service environ 33 tonnes.

Pour satisfaire à ce programme, la Compagnie a fait construire aux usines du Creusot des machines à quatre essieux couplés, analogues à celles des chemins de fer d'Orléans et du Midi. Ces machines ont des roues de 1m,300, et pèsent en service environ 44 tonnes. On a obtenu une suffisante flexibilité en donnant du jeu latéral aux essieux extrêmes.

Disons en passant que la voie se compose de rails Vignoles de 37 kilog.

L'annexe 3 donne le tableau des tunnels, et l'annexe 4 celui des principaux ponts et aqueducs. Le nombre des ouvriers employés à la fois s'est fréquemment élevé à 10,000.

La section qui descend la vallée de l'Ebre, d'Olazagutia à Miranda (75 kil.) ne présente aucune difficulté; on n'y rencontre qu'un souterrain de 520 mètres et six ponts d'une certaine importance.

Victoria, capitale de la province d'Alava, est à 147 kilomètres de la frontière française. C'est une jolie ville rebâtie à neuf, et qui compte environ 14,000 habitants. Cette ville paraît appelée à prendre une grande importance, surtout depuis qu'elle est réunie par le chemin de fer de Tudela à Bilbao, à la Biscaye, la troisième de ces provinces actives et prospères, qui luttent depuis si longtemps et actuellement encore contre toute tentative de centralisation. Disons en passant que Bilbao, malgré la difficulté de son accès, est un port important, faisant pour 70 à 80 millions d'affaires par an, et que la Biscaye possède des usines à fer importantes, des minières riches et développées et des manufactures de produits les plus variés.

C'est à Miranda que le chemin de fer traverse l'Ebre, frontière du pays basque. Le chemin de Bilbao à Tudela s'embranche à cet endroit sur le chemin du Nord pour se diriger d'un côté sur Bilbao, et de l'autre vers Saragosse, en descendant le cours de l'Ebre.

Pour passer de l'Ebre, que la ligne traverse à la côte. 461m
lans la vallée du Duero, il faut franchir le faîte de la Brujula, dont
'altitude est de.. 954
Cette section présente une longueur de 66 kilomètres; le maximum d'inclinaison des rampes est fixé à 10 millimètres par mètre. Le chemin de fer s'élève d'abord avec cette inclinaison de 1 p. 100, usqu'au village de Pancorbo à la côte. 630

Trois kilomètres avant ce village, le pittoresque viaduc des trois moulins supporte la voie à 33 mètres d'élévation et se compose de six arches le 10 mètres en maçonnerie, et d'une travée en tôle de 50 mètres. On rrive à Pancorbo dans une gorge d'un kilomètre environ de longueur, reusée entre deux masses de roches à pic, qui se rapprochent en cerlaines places, presque jusqu'à se toucher; ce défilé, qui livre passage à a route et au torrent d'Oroncillo, est surnommé les Thermopyles de la 'ieille-Castille.

Le chemin de fer n'a pu s'y faire jour qu'au prix de travaux importants.)es murs de soutènement élevés le supportent; un élégant viaduc, dit : Viaduc des Thermopyles, traverse le torrent et deux tunnels percés ans les rochers abrupts qui ferment le passage, donnent au chemin une sue inattendue.

De Pancorbo à Monasterio (38 kilomètres). Le tracé ne présente pas de difficulté; c'est entre Monasterio et Quintanapalla (15 kilomètres) que le chemin franchit le faîte de la Brujula par quatre tunnels d'une longueur totale de 1800 mètres environ, et dont le dernier a 1026 mètres. Ces tunnels et quelques tranchées assez profondes ont été percées dans les marnes gypseuses qui commencent à se montrer au delà de Pancorbo. La grande quantité d'eau dont cette formation est imprégnée, a été pendant longtemps un sérieux obstacle à la fixité de ces ouvrages, et a nécessité d'importants travaux d'assainissement.

C'est après le faîte de la Brujula que commence la vallée du Duero.

Tout le versant nord de cette large vallée et toute la partie qui s'étend sur l'autre versant jusqu'au pied de la chaîne du Guadarrama, forment un immense plateau ne présentant que des inclinaisons très-douces. Aussi les rails ont-ils pu être posés sur 235 kilomètres presqu'à fleur du sol. En dehors de quatre ponts sur le Duero et ses affluents, les ouvrages d'art y sont rares et peu importants.

Il y a peu de pays où l'on trouve sur une aussi grande longueur un tracé aussi facile et aussi économique.

Cette plaine immense est d'une fertilité remarquable, qui n'a d'égale que sa monotonie. Pas un arbre, pas une colline, pas un rocher, partout la plaine dépouillée qui s'étend à perte de vue; mais partout aussi de grands champs de blé, qui ne reçoivent jamais d'engrais, qui sont labourés très-superficiellement et qui n'en portent pas moins en abondance un blé de la plus belle qualité. L'exportation annuelle du plateau est estimée à deux millions d'hectolitres, qui s'expédient par Santander, Bilbao et Saint-Sébastien, partie en Angleterre et en France, partie à l'état de farine dans les Antilles espagnoles. De nombreux moulins hydrauliques, des minoteries de premier ordre sont installés à Palencia, à Valladolid et en divers points. La récolte de vins est, dit-on, tellement abondante qu'il s'en jette, à certaines années, de grandes quantités qu'on ne sait où loger; d'innombrables troupeaux produisent chaque année quatre à cinq millions de kilogrammes de laine, qui se travaille à Avila, à Medina del Campo, à Valladolid, Palencia, Burgos et Santander.

Un canal alimenté par le Duero part de Valladolid, pénètre par des embranchements jusqu'aux centres principaux du commerce des blés, arrive au pied de la chaîne cantabrique à Alar del Rey, et se continue par une route aboutissant à Santander. Cette voie de communication, créée il y a plus d'un siècle, sous le règne de Ferdinand VI, était, jusqu'à la construction du chemin de fer, la principale issue des céréales de la Vieille-Castille.

Burgos est la première ville que l'on rencontre dans ce long parcours; elle est située à 268 kil. de la frontière, à 370 kil. de Madrid. Burgos, capitale de la province de ce nom, est construite sur une colline, près de la rivière d'Arlanzon. Cette ville, qui a eu autrefois 40,000 habitants, et

Venta de Bagnos, dans la province de Palencia, est à 285 kilomètres de Madrid; c'est le point d'embranchement de la ligne de Santander. La première portion de cette ligne, celle comprise entre Venta de Banos et Alar del Rey (91 kilomètres) appartient à la Compagnie du Nord de l'Espagne. L'autre partie, qui présente encore une lacune au passage de la montagne, entre Barcena et Reynosa, a été concédée à une compagnie espagnole. Le tracé suit de très-près le canal et la route de Santander, et ne présente aucune difficulté. Le chemin de fer passe à Palencia, où s'embranchent les lignes qui se dirigent vers Léon, Oviedo, la Corogne et Vigo.

Santander est le premier port de la côte du Nord de l'Espagne, en attendant que le port du Passage ait été affecté au mouvement commercial que l'exécution récente du chemin de fer l'appelle à recueillir. La rade de Santander est abritée, accessible aux bâtiments d'un fort tonnage.

Il s'y fait chaque année pour 80 millions de francs de trafic d'importation et d'exportation. Il n'y a en Espagne que les ports de Cadix et de Barcelone qui soient plus fréquentés. Santander voit chaque année augmenter sa prospérité; la sortie des vins, des grains et des farines y devient de plus en plus active. Il y a dans la ville trente à quarante minoteries, dont plusieurs sont très-importantes. Des mines de charbon importantes sont depuis plusieurs années exploitées avec une grande activité par le Crédit mobilier espagnol, à Barruelo, province de Palencia, et un chemin de fer vient d'être construit qui réunit ces mines au chemin d'Isabelle, à Quintanilla; ces charbons, propres au chauffage des locomotives et à la fabrication du gaz, peuvent ainsi alimenter en partie le chemin de fer du Nord et l'usine à gaz de Madrid.

Un second centre d'exploitation est en ce moment en voie de développement dans la même contrée, à Valderueda.

Revenant au point d'embranchement, nous trouvons, en allant vers Madrid, la ville de Valladolid, sous Charles-Quint, la capitale de l'Espagne.

Valladolid, à 250 kilomètres de Madrid, est bâtie sur l'Esquera et la Pisuerga, affluents du Duero; cette ville, qui a compté près de 100,000 habitants, n'en a plus aujourd'hui qu'une trentaine de mille. Sa position, au centre même du plateau, la fertilité de ses environs, ses fabriques, ses foires, son industrie, avaient fait sa prospérité, et comme tous ces éléments existent encore ou sont sur le point de renaître, on peut prévoir un essor nouveau, dont le chemin de fer sera l'excitant le plus actif.

C'est à Valladolid que sont installés les ateliers de réparation de la ligne. Les divers services de la direction y ont été fixés jusqu'à ces derniers temps et ont été récemment transférés à Madrid.

Quarante kilomètres plus loin, la ligne passe à Medina del Campo, où

s embranchent les lignes de Salamanque et de Zamora, qui se dirigent vers le Portugal.

Médina, qui ne compte aujourd'hui que 4 à 5 mille âmes, est encore un exemple de cette décadence dont l'Espagne a eu tant à souffrir. Au seizième siècle, elle renfermait 70,000 habitants industrieux et riches; il s'y tenait des foires célèbres pour les draps et les lainages, les cuirs, les épices. Il se faisait à chaque foire des centaines de millions d'affaires. Aujourd'hui Médina ne peut plus présenter qu'un intérêt historique; entre autres ruines, celles de l'Alcazar, construit par les Maures sont encore très-importantes.

Le chemin de fer arrive ensuite jusqu'à Avila, ville de 6,000 âmes, dont on aperçoit du chemin de fer les anciennes fortifications. Avila est situé à la cote 1,132m

Au pied de la chaîne du Guadarrama, le faîte est traversé par le tunnel de la Canada à l'altitude. 1.360m

Puis la voie redescend sur l'autre versant jusqu'à l'Escorial, dont la hauteur au-dessus du niveau de la mer est de 935m

Les 71 kilomètres qui séparent Avila de l'Escorial et qui forment la traversée du Guadarrama ont présenté des difficultés aussi grandes que la section des Pyrénées. Cette œuvre importante a été menée à bonne fin par M. Lesguiller, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la Compagnie. La section était partagée en lots dont l'exécution était confiée à divers entrepreneurs.

Les rampes et les pentes ont une inclinaison à peu près constante de 1 à 15 millimètres par mètre, les souterrains, les remblais élevés et les tranchées profondes reparaissent, mais ces ouvrages ne sont plus percés dans la marne ou dans l'argile des terrains secondaires. Nous trouvons là toutes les variétés de granits des terrains primitifs; depuis le granit à petits grains composé de feldspath blanc, de quartz gris et de mica noir, jusqu'au granit porphyroïde, composé d'une pâte feldspathique rose agglomérant de gros cristaux de feldspath lamelleux. Les granits à gros grains sont les plus tendres, ils peuvent être travaillés pour fournir des pierres de construction, des dalles et des pavés. On rencontre des places comme à S. Lorenzo, où jusqu'à une certaine profondeur le granit est décomposé et se désagrége facilement; on trouve des argiles et des kaolins d'assez belle qualité, mais il y a aussi des parties où la roche est d'une dureté telle que l'acier et la poudre restent presque sans action sur elle.

On aura, d'ailleurs, une idée nette de la résistance des roches du Guadarrama, quand nous aurons dit qu'avec un prix de base de 5 fr. par journée de mineur, le mètre cube extrait s'élevait souvent à 10 fr. pour les tranchées et à 30 fr. pour les souterrains.

Tout ce pays est absolument dénudé, stérile et inhabité, le paysage y est d'une sauvage grandeur, les rochers affectent les formes les plus fan-

tastiques, ce sont tantôt des pics élevés qu'il faut traverser en tunnel, tantôt de profondes déchirures, qu'il faut franchir sur des viaducs ou des remblais élevés.

Mais d'autres causes de difficultés sont venues s'ajouter à celles qui provenaient de la dureté de la roche ou de la configuration du sol. On a toujours beaucoup de peine à réunir, sans arriver à des salaires exagérés, douze ou treize mille travailleurs dans un pays aussi complétement désert; mais ici on avait de plus à lutter contre des fièvres dangereuses qui sévissaient surtout sur le versant sud pendant les plus fortes chaleurs. Cette maladie, qui emportait les hommes en peu de jours, souvent même en quelques heures, menaçait de décimer et désorganiser les chantiers, et a obligé les ingénieurs à imaginer des moyens spéciaux.

Outre l'organisation d'un service sanitaire développé et l'emploi des mesures d'hygiène ordinaires, on a dû diminuer l'activité des chantiers du versant sud pendant les mois les plus chauds et remplacer le travail de jour par le travail de nuit. D'ailleurs, la rapidité imposée à l'exécution de la section rendait nécessaire, pendant une certaine période, le travail de jour et de nuit.

On eut recours à la lumière électrique et nous trouvons là la plus grande application qui ait encore été faite de ce procédé, du moins à notre connaissance, à l'éclairage des chantiers de travaux.

Dix tranchées furent ainsi éclairées pendant un nombre total de 9,400 heures, réparties sur les deux campagnes de 1862 et de 1863.

Pour éclairer les tranchées de 15 à 30 mètres de profondeur à attaques étagées, on a installé, en tête des chantiers, sur les points les plus élevés du sol naturel, des pylônes de quelques mètres de hauteur.

Deux régulateurs du système de M. Serrin étaient placés sur chaque pylône, afin de n'avoir pas d'éclipses pendant le remplacement des baguettes de charbon usées; on faisait passer le courant de l'un des appareils à l'autre à l'aide d'un commutateur. Deux piles de 50 éléments Bunsen de 15 cent. de hauteur produisaient successivement le courant. On les réunissait en quantité quand les acides s'étaient trop affaiblis pour qu'une seule pile suffît à entretenir la lumière.

La lumière a toujours été belle et régulière; elle éclairait avec profusion un atelier de plus de cent ouvriers sans pourtant blesser la vue des travailleurs par son intensité.

Suivant la disposition du chantier, on employait un réflecteur parabolique éclairant très-bien un espace de 30 mètres de largeur à 100 mètres de distance et pouvant même lancer une lumière suffisante à 250 mètres, ou un réflecteur hyperbolique éclairant bien 30 mètres de large, à 100 mètres de distance et pouvant aller jusqu'à 200 mètres.

Le fonctionnement des régulateurs n'a donné lieu à aucune difficulté. Sous la direction d'un employé spécial, les ouvriers du pays sont très-aisément devenus bons surveillants des appareils.

Le prix de revient de la lumière électrique, comprenant la consommation des matières, l'entretien des appareils en construction, les pylônes, les frais de personnel et les transports, s'est élevé à 9 fr. 44 par heure.

Il n'aurait probablement pas dépassé 6 fr. par heure, dans un pays où les transports, les faux frais et l'imprévu n'auraient pas pris, comme dans le Guadarrama, une importance exceptionnelle.

Cette dépense est, d'ailleurs, de beaucoup inférieure à celle qu'occasionnaient les torches qui donnaient bien moins de lumière, dans de bien moins bonnes conditions.

En raison de la grande dureté des granits à attaquer et du peu d'effet que produisait la poudre employée à la façon ordinaire dans des trous de mine de petit diamètre, on a eu recours, dans les travaux du Guadarrama, à l'emploi d'un genre de mines, dites mines monstres qui avait donné de bons résultats dans divers travaux de ports.

Un puits vertical, ayant jusqu'à 22 mètres de profondeur, était percé dans l'axe de la tranchée; deux galeries horizontales de longueur variable et allant jusqu'a 16 mètres étaient ouvertes suivant cet axe et au bout de ces galeries, on creusait des chambres cubiques assez grandes pour contenir jusqu'à 1,000 ou 1,200 kilogrammes de poudre renfermée dans des caisses en zinc entourées de bois.

On maçonne soigneusement ces chambres et ces galeries, on emplit le puits de terre ou de sable. C'est à l'aide d'appareils d'induction, système Rumkorff, qu'on enflamme la poudre à distance. Le cube de rocher ébranlé est considérable et s'est élevé dans quelques cas jusqu'à 17,000 mètres. En moyenne chaque mètre cube de rocher ébranlé a nécessité l'emploi de 1k,8 de poudre. Suivant que la charge était plus ou moins forte, le terrain était seulement soulevé et fissuré, ou bien il était entièrement disloqué et les fragments projetés à une grande hauteur.

Il a été fait dans le creusement d'une de ces grandes mines une application de la lumière électrique qui mérite d'être signalée. On travaillait à l'avancement d'une galerie horizontale; à cause du faible développement de ces travaux, aucun moyen d'aérage n'avait été organisé. L'air vicié par la respiration des ouvriers, par la combustion des lampes et par le tirage des petites mines ou pétards, devenait de plus en plus mauvais, et les mineurs devaient se relayer d'heure en heure et ne travaillaient qu'avec peine.

M. Bukaty, l'ingénieur chargé de la direction de ces grandes mines, aussi de celle de l'éclairage électrique, eut l'idée de descendre un de ses régulateurs dans la galerie et d'y produire la lumière électrique. Le résultat fut immédiat : l'une des causes de viciation de l'atmosphère ayant disparu, l'aérage naturel devint suffisant et les ouvriers purent continuer leur travail dans de meilleures conditions de ventilation et d'éclairage. Depuis ce jour, on eut recours à ce moyen ingénieux en diverses occasions analogues.

Les annexes n°s 5 et 6 donnent la distribution des rampes et des courbes de la section d'Avila à l'Escorial.

Le profil en long peut se résumer comme suit :

INCLINAISON en MILLIÈMES.	LONGUEUR DES RAMPES ET PENTES.	INCLINAISON en MILLIÈMES.	LONGUEUR DES RAMPES ET PENTES.
			Report.. 17.696
0.....	11.846	8.....	2.400
3.....	800	10.....	24.962
4.....	1.300	11.....	1.410
5.....	3.000	14.....	15.749
6.....	750	15.....	10.161
	A reporter. 17.696		TOTAL.. 72.378

On voit que dans cette traversée de montagnes, les rampes de 15mm et les courbes de 400 mètres de rayon ont été largement employées pour tourner avec le moins de travaux possible les obstacles sans nombre qu'offrait la configuration capricieuse du sol.

Voici les quantités approximatives de terrassements compris dans cette section :

	LONGUEUR.	CUBE.
D'Avila à Val de la Via.....	17 kilom.	1.104.000 mèt. c.
De Val de la Via à Navalperal.....	16 —	964.000 —
De Navalperal à Paradilla.....	19 —	1.916.000 —
De Paradilla à l'Escorial.....	19 —	738.000 —
Ensemble.....	71 —	4.722.000 —

C'est, environ, 65 mètres cubes par mètre courant.

La maçonnerie, non compris le cube des revêtements des tunnels, se répartit comme suit :

	LONGUEUR.
D'Avila à Val de la Via.....	6.500 mètres cubes.
De Val de la Via à Navalperal.....	26 900 —
De Navalperal à Paradilla.....	26.600 —
De Paradilla à l'Escorial.....	8.800 —
Ensemble.....	68.600 mètres cubes.

L'annexe n° 7 donne la liste des tunnels de la section. Elle se résume par seize souterrains d'un développement total de 4,435 mètres. Le plus long, celui de Navalgrande a 1,000 mètres de longueur. Tous, excepté celui de Val de Juno de 140 mètres, sont percés dans le rocher.

Les viaducs principaux sont au nombre de quatre. Le viaduc en tête de la Gartera a 22 mètres de hauteur sous poutres et 151 mètres de longueur totale; il a 108 mètres de portée en trois travées. Comme il est placé entre deux courbes de sens contraire, cet élégant ouvrage peut être vu par les voyageurs sous tous ses aspects.

Le viaduc de Val de Espinos, tout en maçonnerie, a 32 mètres de haut et 100 mètres de longueur, et se compose de trois arches de 15 mètres de portée; il est en courbe de 400 mètres de rayon.

Le viaduc de Zarzalon a 83 mètres de long, sa hauteur est de 29 mètres; il se compose de trois arches en maçonnerie de 15 mètres d'ouverture.

Enfin, le viaduc Rio Molinos supporte la voie à 41 mètres au-dessus du fond de la vallée, il a 176 mètres de long et se compose de sept arches en pierres de 15 mètres chacune. Il présente aussi une courbure de 400 mètres de rayon.

Le poids total de poudre de mine employée dans le Guadarrama est d'environ 420,000 kilogrammes.

Le nombre d'ouvriers employés à la fois sur les chantiers a fréquemment dépassé treize mille. Les travaux ont duré quatre années.

Nous voilà parvenus à l'Escorial qui marque l'extrémité de cette difficile section. A une demi-lieue du village de ce nom, sur un plateau élevé, le palais de l'Escorial se dresse avec son aspect sombre et superbe, ses proportions régulières et colossales qui l'harmonisent avec les rochers de la montagne.

Nous sommes à 50 kilomètres de Madrid et l'on aperçoit quelques villas où les habitants de la capitale viennent chercher en été l'ombre et la fraîcheur de la montagne.

Le chemin de fer continue à descendre, mais avec des pentes qui ne dépassent plus l'inclinaison du centième, à travers les plaines rocheuses de la Nouvelle-Castille

Le pays, aux approches de Madrid, est triste et dépeuplé. Rien ne ressemble moins que cette contrée déserte aux alentours d'une grande ville, comme aussi rien ne ressemble moins que le pompeux Manzanares à un fleuve digne d'arroser la capitale d'un grand pays. Le chemin de fer traverse ce fleuve sur un beau pont en pierre de cinq arches et arrive à Madrid au pied de la montagne du Principepio et dans le voisinage du palais royal.

Nous n'avons rien à dire de la gare de Madrid qui n'est encore qu'un édifice provisoire en charpente sans aucune prétention monumentale.

La gare du Nord est reliée à la gare du chemin de fer d'Alicante et

dessous des nombreuses routes qui rayonnent la ville.

En résumé, le chemin de fer du nord de l'Espagne composé de la ligne de Madrid à Irun de . . . . . 638 kilomètres
et de l'embranchement de Venta de Bâgnos à Alar del Rey. 91 »

Ensemble. . . 729 kilomètres

présente un tracé ordinaire sur une longueur de.. . . . 469 »
dont une grande partie est même remarquablement facile et économique; puis sur un développement de. . . 143 »
le tracé, sans être encore très-accidenté, présente cependant des travaux assez difficiles.
Enfin les . . . . . 117 »

qui complétent les . . . . . 729 kilomètres

correspondant à la traversée de deux chaînes de montagne qui présentaient à peu près les plus grandes accumulation de travaux qui puissent se rencontrer dans la construction des chemins de fer.

L'une, de 71 kilomètres de longueur, la traversée du Guadarrama, a ses tranchées et ses tunnels ouverts dans sa couche la plus dure; l'autre, la traversée des Pyrénées a 46 kilomètres de long; elle offre une plus grande variété de terrains et de solutions. Toutes deux sont dignes d'une étude d'autant plus attentive que l'exploitation commencée depuis un an au Guadarrama, et depuis plusieurs mois aux Pyrénées, semble s'accomplir dans des conditions favorables au point de vue de la circulation des machines et des trains sur les rampes et pentes, et dans les courbes de 300 à 400 mètres de rayon.

Ce serait une étude trop étrangère aux travaux ordinaires de notre société que d'examiner dans quelles limites les capitaux importants, qu'a nécessairement employés la construction d'une ligne aussi difficile, trouveront leur rémunération dans les produits de l'exploitation.

Il nous sera permis cependant de rappeler la fertilité exceptionnelle en vins, blés et lainages de la vieille Castille, l'activité commerciale et industrielle des provinces basques, l'importance du trafic des ports de Saint-Sébastien, de Bilbao et de Santander, l'antique prospérité de l'Espagne dont les principales sources n'ont pas été taries et fertiliseront de nouveau ce grand pays dès qu'il aura été gagné par le mouvement progressif qui entraîne le monde.

Nous ferons également observer que les grandes lignes qui approvisionnent Madrid n'ont à craindre la concurrence d'aucune voie navigable; elles succèdent à des routes de terre dont l'état laissait beaucoup à désirer; le moyen de transport le plus perfectionné succède dans ce pays au moyen qui l'était le moins. Cette brusque transition, qui fait passer une population d'un état relatif d'inactivité et d'improduction à un état où l'activité de l'homme est éveillée par le puissant stimulant de la rapide

rémunération du travail, peut s'apercevoir immédiatement par l'empressement avec lequel les populations locales ont profité des chemins de fer pour voyager. La production de l'industrie et de l'agriculture les suivra.

Le chemin de fer du Nord qui, par sa direction générale, occupe évidemment le premier rang dans le réseau espagnol, qui relie la Péninsule au reste de l'Europe, à la France, qui est son principal centre d'approvisionnement et le foyer principal de ses relations industrielles et sociales, le chemin du Nord, disons-nous, sera nécessairement le premier à profiter de cette sorte de renaissance à laquelle il aura si puissamment contribué.

ANNEXE N° 1.

Pentes et rampes de la section des Pyrénées.

LONGUEURS.	RAMPES. en millièmes.	PENTES.	PONTS PRINCIPAUX du parcours.
300	8	.....	Beasain.
471	11	.....	Tunnel de l'Oria.
			Id. de Molino.
292	2	.....	Id. d'Arandia.
			Viaduc d'Ormaiztegui.
9151	15	.....	Tunnel Harrezabal.
			Id. d'Ormaiztegui.
400	12	.....	Id. d'Olazuval.
			Id. d'Erissende.
1833	15	.....	Id. d'Olazabarran.
155	 0		
1549	15	.....	Tunnel de Zumarragui.
478	 0		
508	10	»	»
200	15	»	»
200	10	»	»
200	15	.....	Tunnel de Brincola.
3000	10	.....	Id. de Oazurza.
93	 0		
664	10	.....	Tunnel d'Osina.
451	15	.....	Id. d'Ariz.
315	13	.....	Id. d'Ustan.

LONGUEURS.	RAMPES. en millièmes.	PENTES.	PONTS PRINCIPAUX du parcours.
1301	15	.....	Tunnel de Pagoeta.
104	10	.....	Id. d'Ersocanan.
243	 0		
1858	5	.....	Tunnel d'Osinela.
			Id. de Salinas.
			Tunnel de la Fontaine.
1344	10	.....	Id. de Robea-Ura.
			Id. de Pajitado.
			Id. Selerada.
100	5	»	»
200	 0		
892	4	.....	Tunnel d'Otzaurte.
207	 0		
8832	10	10	Pont de l'Alsania.
523	 0		
266	.....	10	»
150	.....	6	Olazagutia.
45.781 longueur totale.			

ANNEXE N° 2.

Courbes de la section des Pyrénées.

RAYONS DES COURBES.	DÉVELOPPEMENT.
mètres.	mètres.
300	6.112
315	777
350	1.322
400	3.548
500	3.422
550	499
600	173
800	1.433
900	1.138
1.000	309
2.000	175
Développement total des courbes.....	18.908
Alignements.....	26.873
Développement total de la section....	45.781

ANNEXE N° 3.

Tableau des tunnels de la section des Pyrénées.

DÉSIGNATIONS.	LONGUEUR.	DISTANCE de BEASAIN.	DÉSIGNATIONS.	LONGUEUR.	DISTANCE de BEASAIN.
Tunnel de l'Oria.....	102m	1k	Tunnel d'Arizundia...	100m	24k3
Id. de Molino.....	70	2	Id. d'Ustan.....	363	24.5
Id. d'Araundia...	125	3.8	Id. de Pagoeta...	185	28.5
Id. d'Harrazabal..	416	7	Id. d'Asocaran...	160	29
Id. d'Ormaiztegui.	236	7.7	Id. d'Osineta.....	720	29.4
Id. d'Olazabal....	140	9	Id. de Salinas....	340	30.5
Id. d'Erismendi...	530	9.2	Id. de la Fontaine.	186	31
Id. d'Olazabarran.	465	10.2	Id. de Rosea-Area.	225	31.5
Id. de Zumarraga.	685	11.6	Id. de Pajitado...	106	32.3
Id. de Brincola...	282	22.3	Id. de Salerade...	141	33.4
Id. d'Oazurza.....	2953	23.7	Id. d'Orzaurte....	1158	34
Id. d'Osina.....	701	25.3			

ANNEXE N° 4.

Tableau des ponts et viaducs de la section des Pyrénées.

DÉSIGNATIONS.	LONGUEUR.	DISTANCE de BEASAIN.	DÉSIGNATIONS.	LONGUEUR.	DISTANCE de BEASAIN.
Pont sur l'Oria.....	22m	0k5	Viaduc de la Sulera...	118m	33k3
Pont sur l'Oria.....	16	il	Pont sur l'Alsina.....	15	38.8
Viaduc d'Ormaiztegui..	284	5.5	Id. id.....	20	41.9
Pont sur l'Urola.....	12	14.3	Id. id.....	16.40	43.5
Pont sur l'Urola.....	12	15.5	Id. id.....	20	44.8

ANNEXE N° 5.

Tableau des pentes et rampes de la section du Guadarrama.

PENTES.	RAMPES. en millièmes.	LONGUEURS.	LIEUX DE PASSAGE.	PENTES.	RAMPES. en millièmes.	LONGUEURS.	LIEUX DE PASSAGE.
»	10	134	Station d'Avila.		*Report.*	40.884	
..... 0.....		600					
10	.....	1.000					
..... 0.....		2.600		..... 0.....		300	
»	10	1.100		14	.....	6.000	
»	15	4.900		8	.....	500	
»	11	500		14	.....	2.400	
»	15	5.856		8	.....	500	
»	11	910	Tunnel de Navalgrando.	5	.....	800	Tunnel de la Peralta.
»	14	434		10	.....	3.070	Santa-Maria.
»	8	400		..... 0.....		2.430	
»	10	3.300		5	.....	1.800	Robledo.
»	8	1.000	Tunnel de la Canada.	..... 0.....		700	
»	.....	342		3	.....	800	Tunnel de Portachuela.
10	.....	8.258		10	.....	800	
6	.....	750		..... 0.....		1.750	Zarzalijo.
..... 0.....		300	Station de Navalperal.	10	.....	1.750	
4	.....	1.100		5	.....	400	
14	.....	3.450		10	.....	5.400	
10	.....	150		4	.....	200	Station de l'Escorial.
..... 0.....		335	Station de las Naves.	..... 0.....		894	
14	.....	3.465					
A reporter.		40.884		TOTAL...		71.378	

ANNEXE N° 6.

Tableau des courbes de la section du Guadarrama.

RAYONS DES COURBES.	DÉVELOPPEMENT.	RAYONS DES COURBES.	DÉVELOPPEMENT.
400 mètres.	4.353 mètres.		
430 —	469 —	720 mètres.	639 mètres.
450 —	8.737 —	750 —	156 —
500 —	9.224 —	800 —	2.469 —
550 —	394 —	900 —	658 —
580 —	1.235 —	950 —	295 —
600 —	1.638 —	1000 —	3.989 —
700 —	1.210 —		

Développement total des courbes.....	35.468 mètres.
Alignements.....	36.155 —
Développement total de la section.....	71.378 —

DESCRIPTION

DU PERFORATEUR DE PRÉCISION

DE M. FÉLIX LOISEL.

Cet appareil opère d'après les données du calcul, dans toutes les directions et sous tous les angles voulus, sur toutes espèces de pièces pleines, creuses, etc. Il est composé de trois pièces fondamentales qui forment par leur combinaison la base de son application, savoir :

1° (Pl. 43, *fig.* 1, 2 et 3) R, une règle métrique faisant partie d'une glissière G;

2° C, un grand cadran rapporteur placé horizontalement, pouvant se mouvoir sur la glissière et divisé en degrés;

3° *c*, un petit cadran, faisant partie du support fixe S, également gradué et placé dans un plan vertical par rapport au premier cadran.

Deux supports S et S′ servent à soutenir la pièce à percer et à la fixer à volonté à l'aide de vis de pression, tout en lui permettant ainsi de subir un mouvement de rotation sur son axe et de présenter au perforateur tel point de sa surface que besoin il y a.

L'un des supports S est maintenu par des boulons, d'équerre sur une des extrémités de la glissière, au n° zéro, c'est-à-dire à l'origine des divisions de la règle R. Il est muni du cadran vertical *c* gradué qui sert à pouvoir déterminer, d'après le nombre des degrés obtenus par les calculs, le mouvement de rotation ou la position que doit avoir la pièce à percer (pièce supposée être un tube de 26/42, comme l'indiquent les fig. 1 et 3).

L'autre support S′, également ajusté d'équerre sur la glissière et parallèlement au premier, se meut comme le cadran horizontal C, sur cette glissière afin de pouvoir se rapprocher ou s'éloigner du support

fixé et de permettre ainsi d'appliquer le perforateur d'un point déterminé sur les pièces à percer en les soutenant par leurs extrémités.

Le cadran rapporteur horizontal C est disposé de manière à pouvoir se mouvoir sur la glissière, horizontalement et parallèlement à la règle métrique citée plus haut; son diamètre est dans un même plan vertical que l'axe du tube ou de la pièce que l'on veut percer. Il indique, par une alidade, la distance d'une des extrémités de la pièce à percer au point de son axe que l'on veut prendre pour point de départ ou pour sommet des angles que l'on s'est donné à calculer.

L'outil perforateur P est emmanché avec sa bobine sur une grande vis qui lui sert de guide. Cette vis (avec l'outil) est rapprochée à volonté des pièces dont on opère le forage par le mouvement de va et vient d'un archet enroulé sur la gorge du perforateur, formant bobine.

Une espèce d'équerre E ou porte-outil, mobile autour d'un pivot formant le centre du cadran horizontal C, sert à supporter le *perforateur*.

Cette équerre E, dont la tête ou partie supérieure sert d'écrou à la vis de ce perforateur, a également une alidade qui permet de la placer en regard du chiffre de degrés trouvés par le calcul de l'angle voulu en projection horizontale; une espèce de clef *m*, servant d'écrou, est destinée à fixer cette équerre ou porte outil dans la direction calculée.

Un anneau A, muni d'une aiguille, qui indique le chiffre des degrés du cadran vertical, est adaptée, à l'aide de trois vis de pression, au tube pris pour exemple et pour application du procédé.

Ce tube a d'abord été fixé sur ses supports en plaçant l'aiguille en regard du n° zéro du cadran; ensuite on y a appliqué, dans le plan de son axe et horizontalement une règle métrique R' (*fig.* 3), indépendante de l'instrument et supportée par deux pattes faisant partie des supports S et S'. Cette règle sert pour guider le poinçon destiné à tracer des points et une ligne de repère sur le tube. Ces points et cette ligne une fois tracés, on desserre les vis qui tiennent le tube fixement, pour lui faire faire un mouvement de rotation de manière à amener l'aiguille du n° zéro au chiffre de degrés calculés pour la projection verticale de l'angle ou inclinaison voulue; ainsi placé, le tube doit être de nouveau fixé par ses vis de pression.

Un poinçon *p* (*fig.* 4) est introduit dans la tête du porte outil, avant d'y mettre la vis du perforateur; un coup sec, qu'on y applique ensuite avec un marteau, produit sur le tube une empreinte destinée à guider le foret avec plus de facilité et d'exactitude au début de sa manœuvre.

La figure 5 représente en plan et en coupe un porte outil perforateur composé de trois pièces au lieu d'une seule (comme l'indiquent les *fig.* 2 et 3); l'une E' verticale à coulisse, peut glisser sur une seconde pièce E' horizontale, de manière à se rapprocher, avec le perforateur, de la pièce

à percer; la troisième pièce E' est une espèce de manchon servant d'écrou à la vis du perforateur, sa disposition permet de la placer à différentes hauteurs par rapport à la pièce à percer.

Les têtes des supports S et S' pourront aussi être établies dans le même genre ou bien à charnières, à pivots, etc., d'après les formes des pièces destinées à être percées.

La figure 6 représente le modèle du coussinet qui renferme le tube de 26/42 de l'application que je me suis donnée.

Les têtes des supports S et S' ont été établies de manière à pouvoir renfermer des tubes ayant jusqu'à 70 $^{m}/_{m}$ de diamètre, en employant le même type de coussinets d'après les différents diamètres des tubes.

L'appareil est représenté sur la planche sous un petit modèle spécial pour le but que je voulais remplir, il devra être établi, comme proportions, d'après la forme et les dimensions des pièces employées.

Le cadran vertical au lieu d'un quart de cercle serait porté à un demi ou à un cercle entier si cela était nécessaire dans d'autres circonstances.

Je vais donner ci-après les détails de l'application de l'appareil, représentée sur la planche.

J'ai supposé pour exemple devoir percer un tube destiné à être placé horizontalement au-dessus de la porte et dans l'intérieur du foyer d'une locomotive; la vapeur de la chaudière étant mise en communication avec ce tube, pour y être surchauffée, doit de là s'en échapper par un orifice qui doit être placé dans une direction voulue (comme l'indique la *fig.* 7.)

Le jet de vapeur est dirigé dans la zône de combustion, il a pour but de brûler la fumée et d'augmenter la puissance de vaporisation, son point de départ est à 275 millim. de l'extrémité du tube (supposé avoir dans cet exemple la largeur du foyer de la locomotive), il doit se projeter contre une des faces latérales du foyer à 400 millim. au-dessus de la grille et à 500 millim. de la face antérieure où se trouve la porte du foyer.

Le problème à résoudre se réduit à déterminer l'angle que fait une droite dont on a les équations, avec l'un des axes coordonnés, l'axe des y, par exemple (l'axe étant celui du tube et la droite la direction d'un jet de vapeur). Cette droite m'est connue par ses deux projections, en employant les formules $tg = \frac{\sin}{\cos}$, il ne s'agissait que de construire un appareil permettant l'application de ce principe.

J'ai supposé deux plans d'équerre, l'un vertical et l'autre horizontal, tous deux passant par l'axe du tube; j'ai pris alors les distances de ces plans au point où je voulais voir aboutir le jet de vapeur, à 930 millim. dans le sens vertical, et 470 millim. dans le sens horizontal.

Ces données et les précédentes m'ont permis de calculer la valeur en degrés, des angles formés par le jet avec l'axe du tube, et par là quelle disposition je devrais donner au tube (63°11'), et au perforateur (75°47').

En effet :

$$tg = \frac{\sin}{\cos} = \frac{z}{x} = \frac{MN}{CN}.$$

$$MN = 930$$
$$CN = 470$$

$$\frac{z}{x} = \frac{930}{470} = 1.979 = 63°11'.$$

Ainsi, j'ai dû faire subir au tube un mouvement de rotation de 63°11', à partir de la position qu'il occupait lorsque l'aiguille de l'anneau marquait zéro au cadran vertical du support S.

Pour trouver le nombre de degrés ou l'angle donné comme inclinaison horizontale au perforateur, j'ai dû chercher la valeur de l'angle COM de l'espace ayant C'O'M' pour projection horizontale.

A cet effet, j'ai supposé un triangle passant par l'axe du tube et par la projection verticale CM de la direction d'un jet de vapeur. C'est dans ce triangle que se trouve l'angle COM à calculer.

Dans ce triangle COM j'ai de connu, savoir :

1° Le côté CM ;

2° *Id.* $CO = C'O' = y = 275$;

j'ai encore $$tg = \frac{\sin}{\cos} = \frac{CM}{y}.$$

Or, $$CM = \sqrt{z^2 + x^2}$$

d'où $$tg = \frac{\sqrt{z^2 + x^2}}{y} = \frac{\sqrt{930^2 + 470^2}}{275} = \frac{1042}{275} = 3.789 = 75°47'.$$

J'espère que cet appareil, modifié d'après les circonstances de son emploi, tout en étant basé sur le même principe, pourra donner lieu à d'autres applications dans l'industrie, que celle que je m'étais proposée, c'est dans ce but que j'ai désiré le faire connaître à la Société.

NOTE

SUR

LE FILTRE DE M. COSTE,

fabricant de papier aux Salvages, près de Castres (TARN).

PAR **M. SCHABAVER.**

L'usine de M. Coste est située sur la rivière de l'Agout, dont les eaux deviennent troubles, pour plusieurs jours, même avec une pluie ordinaire; la fabrication du papier blanc, et surtout du papier à cigarettes, exigeant pour le lavage des pâtes, de l'eau toujours très-claire, se trouve alors interrompue. N'ayant aucune source à sa disposition, il ne peut donc, pour éviter les chômages, que filtrer l'eau de la rivière, par des moyens artificiels. Une couche de sable servait depuis longtemps dans ce but, mais le nettoyage en était long et dispendieux.

M. Coste a cherché à perfectionner cette installation, et surtout à obtenir, avec la même surface employée, un débit supérieur et plus constant; il a voulu, par les nouvelles dispositions, opérer des lavages plus rapides et plus complets, sans avoir à remuer, chaque fois, toute la masse du sable filtrant.

Son filtre, avec une surface de 28 mètres carrés et une pression de 2 mètres, débite, après un lavage de 500 à 600 litres. Ce rendement diminue au fur et à mesure du fonctionnement. Quand il est réduit à 300 litres par minute, minimum indispensable pour le service auquel est attaché le filtre, on procède au lavage, comme nous l'indiquerons plus loin.

Ce filtre fonctionne chez M. Coste depuis six ans, et je l'ai toujours vu dans le même état.

Les papeteries de M. Laroche-Joubert à Angoulême, les fontaines de la ville de Mirepoix (Ariége), plusieurs blanchisseries de toile en Belgique, sont alimentées par le filtre de M. Coste.

La planche 43 nous servira à décrire le filtre et à expliquer avec quelle facilité s'opère le lavage; cette facilité est le principal mérite des dispositions adoptées.

Fig. 1. Élévation du filtre.

Fig. 2. Plan horizontal.

Comme l'indique cette figure, le filtre est divisé en quatre compartiments, que je désignerai comme suit : ABCD premier compartiment; EMNH deuxième compartiment; FGOP troisième compartiment; IJKL quatrième compartiment.

La figure 3 représente la coupe verticale du deuxième et du troisième compartiments, suivant A B de la figure 2.

La figure 4 donne le premier et le quatrième compartiments, coupés suivant CD de la figure 2.

La figure 5 donne la coupe longitudinale et verticale du premier et du deuxième compartiments.

La figure 6 pareillement, les coupes du troisième et quatrième compartiments.

Le deuxième et le troisième compartiments sont séparés par une cloison moins élevée que les côtés du filtre, comme le montre la fig. 3: tandis que le premier et le quatrième sont séparés entre eux, et les deuxième et troisième, par des cloisons au niveau de la hauteur totale du filtre, fig. 1.

Le premier compartiment, fig. 4, reçoit l'eau à filtrer, amenée par le tuyau qui vient déboucher au point A. La paroi qui sépare ce compartiment du deuxième est percée de trois ouvertures, fermées par des vannes, fig. 4, savoir : deux en bas et une dans le haut. Une quatrième ouverture fermée par une vanne, est pratiquée dans la paroi qui sépare ce compartiment du quatrième, fig. 4; d'où il résulte que l'eau qui arrive dans le premier compartiment peut être donnée à volonté dans le fond du deuxième, par les deux vannes du bas, fig. 4, ou bien à la partie supérieure du deuxième compartiment, par la vanne du haut, fig. 4, ou bien encore dans le quatrième compartiment, par la vanne placée à cet effet dans la cloison qui sépare ce compartiment du premier, fig. 4.

Le deuxième compartiment est disposé comme suit : Il renferme quatre couches filtrantes. La première au fond, fig. 3, est composée de moellons posés sans mortier ni ciment, dans lesquels sont ménagés deux canaux correspondant aux ouvertures des deux vannes du fond du premier compartiment, fig. 4. A l'extrémité des deux canaux, à la partie opposée du filtre, deux vannes sont placées, pour permettre l'évacuation de ces canaux au dehors. La deuxième couche est composée de machefer ou scories de fourneaux, la troisième couche de gravier et la quatrième de gros sable.

Le troisième compartiment, comme l'indique la coupe, fig. 3, est composé au fond de trois couches de drains emmanchonnés, disposés comme l'indique la fig. 2. Ces tuyaux, maçonnés et cimentés seulement dans la partie qui traverse la cloison, entre le troisième et le quatrième compartiment, viennent couler dans ce dernier. Ces drains posés en pente pour un plus facile écoulement de l'eau, sont noyés dans le gravier mis dans les intervalles. Le diamètre des tuyaux est tel que le premier rang

du fond puisse suffire seul au débit total de l'eau filtrée. Au-dessus des drains est la couche de sable qui doit être un peu inférieure aux vannes placées sur le pourtour du compartiment, fig. 6.

Le quatrième compartiment reçoit l'eau filtrée qui coule par les tuyaux de drainage. Cette eau doit avoir deux sorties : l'une conduisant au réservoir de l'eau filtrée; l'autre, pour rejeter au dehors l'eau du filtre, après un lavage ou après la mise en train, jusqu'à ce qu'elle soit complétement claire. L'eau filtrée ne doit jamais refluer dans les drains : les orifices qui la reçoivent doivent êtres disposés à cet effet.

Fonctionnement du filtre. — L'eau arrivant dans le premier compartiment, l'on ouvre seulement les deux vannes du fond, communiquant avec les canaux ménagés dans le moellon; l'eau passe successivement à travers les moellons, le machefer, le gravier et le sable; elle s'élève dans le deuxième compartiment, bientôt elle dépasse le niveau de la cloison qui sépare ce compartiment du troisième. Elle tombe sur la couche de sable, la pénètre, laisse dans ce parcours les corps qu'elle porte en suspension et sort clarifiée par les drains dont l'orifice débouche dans le quatrième compartiment.

Dès la mise en marche, l'eau ne sort pas claire mais bien chargée des impuretés de la couche de sable, et ce n'est que quand le sable est tassé et qu'une couche de vase s'est déjà formée, que le courant se ralentit, qu'elle sort claire du filtre. La vase s'accumule, laisse passer de moins en moins d'eau, et arrivée au débit de 15 mètres cubes en vingt-quatre heures, il est bon de procéder au lavage, en commençant par la couche de sable du troisième compartiment.

On ferme à l'arrivée de l'eau dans le premier compartiment, on ouvre la prise d'eau du quatrième, fig. 4, après avoir également fermé les deux sorties d'eau clarifiée; l'eau arrivant pénètre par les drains sous la couche de sable et remonte à la surface en entraînant la vase déposée par l'eau, en se filtrant. Un ou plusieurs manœuvres, armés de rateaux à longues dents labourent la surface du sable, aussi profondément que possible, l'eau chargée de la vase, ainsi mise en suspend, sort par les vannes disposées au-dessus de la couche de sable, fig. 6. Ce lavage continue jusqu'à ce que l'eau s'en aille claire. On procède ensuite au lavage du deuxième compartiment; dans celui-ci l'eau suivant un mouvement ascendant, les corps chariés par la rivière resteront dans le fond des canaux avec les feuilles et les fragments de bois; la vase s'agrége de bas en haut dans les couches supérieures. On ouvre les vannes du fond du premier compartiment, aussitôt qu'il sera plein d'eau, et en même temps à la sortie des canaux à l'extrémité opposée du filtre, fig. 2; l'eau s'échappe avec toute la vitesse due aux 2 mètres environ de pression et entraîne avec elle tout ce qui restait déposé dans les canaux; après, on ferme les vannes d'entrée seulement, et on donne l'eau à la partie supé-

rieure, cette eau descendant à travers les couches pour s'écouler au dehors, entraîne avec elle la vase déposée par l'eau ascendante, dès que l'eau sort claire, l'on remet le filtre en fonction régulière. Pourtant avant de verser l'eau sur le troisième compartiment, on l'évacue par les vannes supérieures du deuxième compartiment en remuant le gros sable avec les rateaux. Aussitôt cette couche nettoyée le filtre est prêt à fonctionner; seulement on perd la première eau jusqu'à ce qu'elle soit complétement filtrée.

En temps de pluie, la vase est plus abondante, les nettoyages doivent être plus fréquents. Mais comme la rivière charrie abondamment, il faudrait laver le filtre avec de l'eau clarifiée, et alors il devient convenable de ne faire que des nettoyages partiels. On évacue l'eau au-dessus du troisième compartiment, et la couche de sable fin se trouve vite à sec; on enlève une couche de vase de 2 à 3 centimètres pour la remettre sur la couche de gros sable du deuxième compartiment, et bientôt l'eau a entraîné la plus grande partie de cette vase; pendant toute la durée du trouble on procède de cette façon, pour n'opérer le lavage complet que quand la rivière est de nouveau à peu près claire, et l'on remet le sable fin dans le troisième compartiment à hauteur convenable.

Après un temps assez long, la vase la plus fine descend assez profondément dans le troisième compartiment; pour arriver à un lavage complet on sort momentanément les couches supérieures pour laver celles du fond et l'on recharge le filtre.

Pour un service d'eau non interrompu, il est donc convenable d'avoir plusieurs de ces filtres, trois par exemple, dont deux suffiront pour l'alimentation complète, pendant qu'on procède au lavage du troisième.

La durée du fonctionnement du filtre est variable comme le degré de pureté de l'eau qu'on y amène. Elle sera quelquefois d'un mois sans interruption. Deux jours suffiront, en d'autres circonstances, pour amener sur le troisième compartiment une couche de vase qu'il faudra enlever.

L'établissement de ces filtres, en faisant disparaître les chômages pour cause d'eau trouble, et en permettant le remplacement des roues hydrauliques par des turbines, a augmenté la production de la papeterie de Salvages dans des proportions très-considérables.

TRAITÉ COMPLET DE MÉTALLURGIE

PAR LE Dr J. PERCY,

TRADUIT

PAR MM. PETITGAND ET RONNA, INGÉNIEURS.

AVEC INTRODUCTION, NOTES ET APPENDICE,

DES TRADUCTEURS.

PAR M. EUGÈNE FLACHAT.

TOME PREMIER.

Nous n'avons pas la prétention de rendre compte, même en résumé, du volume par lequel MM. Petitgand et Ronna commencent l'importante entreprise d'une traduction de l'ouvrage du docteur Percy, en la complétant par leurs propres travaux.

Ce premier volume est, en lui-même et avec l'introduction, une histoire générale des métaux, qui appartient aux traducteurs, et un traité complet des combustibles et des matières réfractaires, dans lequel les notes et appendices ajoutés par eux à l'œuvre du docteur Percy, entrent pour une part essentielle.

Ce livre sera celui du savant qui ne dédaigne rien de ce que l'empirisme a produit en faits utiles; de ce que l'alchimie a produit en découvertes imprévues pour leurs auteurs; et qui fonde la philosophie, c'est-à-dire la connaissance des lois de la matière, depuis que ces lois commencent à servir de guide à la fabrication.

Ce livre est celui de l'ingénieur qui, laissant au savant le laboratoire, emprunte aux progrès de la science ce qui est applicable dans les étroites limites du prix de revient.

Ce livre est surtout celui du fabricant, et de celui qui veut apprendre

la fabrication, parce qu'il expose avec une grande clarté les procédés qui se sont succédé et ceux qui sont en usage aujourd'hui.

Le traité du docteur Percy est la seule publication qui reflète l'application récente des progrès scientifiques de la docimasie, de la physique et de la chimie, dans la fabrication; progrès que nous avons vu éclore dans ces vingt dernières années.

Il y a vingt ans, en effet, la situation de l'industrie du fer était dominée par trois faits qui jetaient sur son avenir une grande incertitude :

1° La substitution des combustibles minéraux aux combustibles végétaux affaiblissait la qualité du produit;

2° Les usines entourées de minerais de basses qualités étaient condamnées à fabriquer de mauvais produits;

3° Les usines qui, disposant de bons minerais ne peuvent les traiter que chèrement, faute de combustible à bon marché, étaient condamnées à une fabrication restreinte.

Les chemins de fer et l'amélioration des conditions de transport par voies navigables, ont mis à la disposition des fabricants des ressources nouvelles.

Une véritable régénération de l'industrie s'est produite depuis ce moment, et l'une des conséquences les plus heureuses a été dans la nécessité pour le fabricant d'acquérir des notions scientifiques plus étendues pour traiter les nouvelles matières qui s'offraient à lui. Il lui a fallu bien mieux savoir ce qui se faisait ailleurs et les causes pour lesquelles on procédait autrement que lui.

Si le caractère moral de cette révolution dans la fabrication du fer a été dans le développement des notions scientifiques, le caractère matériel a été un immense chassé-croisé (qu'on nous pardonne l'expression) entre les divers minerais et les divers combustibles.

Cette période qui a produit une amélioration générale dans la qualité du fer, se résume dans l'adoption de mélanges de minerais dont l'utilité comme mélange, n'avait pas été soupçonnée. Les réactions des matières en contact, sous l'influence des hautes températures, ont été étudiées et comprises; ici, pour l'amélioration de la qualité du produit; là, pour obtenir plus de fusibilité et l'économie de combustible qui en est la conséquence; presque partout, pour approcher le fer de ses conditions d'emploi direct dans l'industrie autant par sa nature que par sa forme.

Il n'est désormais aucun des grands établissements métallurgiques dont le salut ne dépende de moyens de transport, car les grandes distances auxquelles s'obtiennent les matières premières sont le fait général.

En Angleterre, le transport des minerais et celui de la houille destinés à les traiter constituent aujourd'hui une notable part des transports généraux du pays, et, il est résulté de cet échange des minerais un nivellement général dans le mérite des produits.

Le Staffordshire n'a plus seul le privilége de fabriquer les meilleurs

une très-large part des fers ouvrables de bonne nature.

On voit poindre en France cette situation à mesure que l'amélioration des moyens de transport étend le cercle d'approvisionnements en matières premières autour des grands établissements.

Ce progrès a été relativement rapide. Vingt ans ont suffi en Angleterre, pour le bien déterminer. Il sera plus rapide encore en France, parce que la concurrence des pays étrangers en fait une condition d'existence des établissements actuels.

Le livre du docteur Percy qui traite, avec tous les développements nécessaires, les questions de *chimie du fer*, et, à plus proprement parler, de *chimie des minerais* est donc d'une opportunité incontestable.

Ceux qui savent combien dans le choix des procédés de fabrication du fer, les erreurs sont fatales, combien les fautes les plus légères sont dispendieuses, et combien les essais sont lents et difficiles, savent aussi que le meilleur moyen d'éviter ces erreurs et ces fautes, d'abréger et de simplifier les essais, c'est de savoir ce qui se fait, et de comprendre par les règles scientifiques, pourquoi ce qui se fait réussit ici, échoue ailleurs.

La publication du traité du docteur Percy sera donc bien venue; mais il importait qu'elle fût confiée à des métallurgistes, à des ingénieurs, spéciaux comme science de fabrication, de laboratoire et comme direction des grandes usines.

Elle devait recevoir ainsi le complément nécessaire pour se recommander à nos fabricants, à nos ingénieurs; car nous aimons qu'on écrive pour nous, de ce qui nous intéresse et doit nous servir. Nous nous défierions de ce qui aurait une trop forte couleur locale autre que la nôtre. Cette prévention, car c'en est une, comme toute injuste prédisposition, a fait beaucoup de mal. La preuve est faite aujourd'hui.

Bon gré, mal gré, les procédés anglais sont ceux qu'il a fallu suivre.

Le champ d'application et d'expérience était si vaste dans ce pays que le procédé a coulé comme un fleuve, ouvrant son lit partout. Nous nous refusions à croire qu'il fût guidé par le flambeau de la science. C'était une erreur, et l'ouvrage du docteur Percy est la preuve manifeste de cette erreur; et puis, la science eût-elle été insuffisante ou absente, la généralité, l'identité du progrès sur tous les points du territoire à la fois, n'était-elle pas la preuve que, même due au hasard, à l'empirisme, ou aux tâtonnements, la voie suivie était la vraie.

Dans les visites que nous avons faites en Angleterre, dans les divers grands ateliers de construction, nous avons été frappés d'un fait nouveau : à savoir : que généralement le fer ouvrable y est de bonne qualité.

A côté d'usines fabricant des produits spéciaux, telles que Low-moor, Bowling, etc., on voit tous les ateliers fabriquer une immense quantité de scrap-iron (fer de ferraille) dont les matières sont des rails usés sortant du renouvellement des voies. Cette égalité de qualité est cependant pro-

duite par une extrême diversité de minerai et c'est là, nous le répétons, le caractère de la révolution scientifique qui s'est faite en Angleterre. Aucun minerai n'est négligé : les qualités pauvres sont enrichies par le mélange de minerais à forte teneur. Les minerais réfractaires sont rendus fusibles par le mélange de minerais à gangues moins résistantes aux hautes températures. La silice, le soufre, le phosphore, l'arsenic sont combattus par des antidotes recherchés dans les gangues des minerais eux-mêmes; ces gangues sont également choisies dans le but de protéger les parois des appareils composés eux-mêmes de silice et d'alumine. Le fabricant étudie la formation des silicates qui entraînent avec eux les matières minérales dont la présence altère le fer; il réussit à les doser et il ne réussit que parce que la science est venue à son aide.

Tels sont les résultats auxquels la publication du traité du docteur Percy va donner une impulsion nouvelle.

Les traducteurs commencent par une introduction historique qui a le mérite de présenter les diverses révolutions qu'a subies la fabrication des métaux. Elle est féconde en enseignements. On fait du fer depuis quatre-vingt siècles au moins, et il n'y a pas un siècle qu'on sait ce que c'est que le fer, et quels sont les corps dont le mélange lui nuit. Dans ces 8,000 années[1], « *La période empirique toute de faits accumulés, sans ordre, sans contrôle; de traditions, d'inexactitude* » a duré 7,700 ans. *La période hypothétique, celle des alchimistes, époque de recherches, d'essais, de systèmes prématurés, d'appréciations commentées, mais non classées,* a duré 200 ans; mais, depuis Lavoisier, on voit poindre et dominer ensuite *la période philosophique*, c'est-à-dire l'étude dirigée rationnellement vers la composition des corps, des gaz, de la matière et de ses réactions.

Cette période commence à peine, et, à peine connu comme corps, le fer aide à fonder la machine à vapeur, les métiers, les ponts suspendus, les ponts fixes, la navigation à vapeur, les chemins de fer; l'architecture en enrichit l'art et lui ouvre des voies nouvelles. Quel architecte peut se passer du fer maintenant dans les édifices qui doivent traverser les âges à moins de recommencer l'inutile entassement des Pyramides d'Égypte. L'histoire du fer aujourd'hui, c'est celle du développement de notre civilisation.

Il faut donc la savoir. Elle est décrite dans l'Introduction, rapidement, sans inutilités, d'un style facile et nerveux qui attache. Après l'histoire des procédés vient l'histoire commerciale dans laquelle entrent, comme une anecdote, quelques lignes sur les vastes établissements anglais, tels que Dowlais qui fabrique en une année 182,000 tonnes de fonte. (C'était, en 1824, la production totale de la France.) A cet exposé succède l'histoire des combustibles dont l'emploi est lié intimement aux procédés de fabrication des métaux. C'est là un très-beau travail qui a exigé

1. On faisait usage du fer en Égypte soixante siècles avant l'ère chrétienne.

auteurs qu'ils ont su écarter les détails inutiles, se bornant aux faits qui intéressent le fabricant et l'économiste.

L'introduction se termine par des considérations du plus haut intérêt sur le régime économique de la production des métaux. Les auteurs y développent ce thème que le libre échange des produits métallurgiques ne peut être, dans un pays comme la France, pays moins favorisé par la nature, sous ce rapport, que l'Angleterre, que la conséquence de l'affranchissement des entraves administratives qui enlacent l'industrie.

Dans les hautes régions politiques, où domine un sentiment très-libéral au point de vue de la liberté du travail, on sait que le code administratif, ce code qui régit l'industrie métallurgique, c'est-à-dire l'acquisition et l'exploitation du bois, la propriété et l'extraction du minerai et du combustible, et l'établissement des usines, se compose de nombreux volumes de textes réglementaires dont l'interprétation exige la connaissance de volumes encore plus nombreux. On le sait pertinemment, et on voudrait débarrasser l'industrie de cette entrave.

Les codes de lois qui sont en contact avec nos mœurs se simplifient et s'épurent; on en a effacé successivement l'esclavage, le servage, la corvée, les distinctions de classes, l'inquisition, les supplices, les tortures; en un mot, on a procédé par élimination de tout ce qui était en désaccord avec le progrès des mœurs.

Mais de tout ce qui est en contact avec l'industrie, c'est, en fait de règlement, par accumulation qu'on a procédés.

Un règlement ne se substitue pas à un autre, il s'y ajoute. De là la confusion, le nombre, l'étendue et l'obscurité des textes. Des jurisconsultes passent leur vie entière à chercher le sens de ce code, à en réunir les mille intentions et à en simplifier l'interprétation. Une industrie ainsi réglementée peut-elle lutter contre celle qui, trouvant plus de richesses naturelles associées à plus de liberté de travailler, n'a rien qui gêne son élan? Les auteurs ont donc bien fait de terminer l'histoire des métaux par un appel à la simplification des formes administratives qui réglementent la propriété, l'extraction et le traitement des minerais et des combustibles, et l'établissement des usines.

Passons au traité du docteur Percy :

Les vingt premières pages en sont consacrées à la description des propriétés physiques des métaux. Les faits sont ici tellement condensés, qu'il serait difficile d'en extraire quelques lignes sans tomber dans la forme d'une table de matières. C'était, du reste, la préface naturelle d'une exposition des procédés métallurgiques à leur point de vue général. La comparaison des manières d'être, propres aux divers métaux, donne un vif intérêt à ces préliminaires. Le même intérêt se retrouve, pour la même cause, dans l'indication sommaire des procédés généraux : réduction par

le carbone, grillage, etc., qui est suivie de l'étude des scories et des divers silicates. La méthode d'exposition devient déjà d'une parfaite clarté, et le soin avec lequel sont cités les expérimentateurs est un des mérites les plus sérieux de cette étude : il inspire une grande confiance dans les conclusions de l'auteur.

Les combustibles sont traités ensuite avec toute l'étendue désirable: la combustion, le pouvoir et l'intensité calorifique des combustibles en sont les préliminaires. L'auteur aborde après cela l'étude des bois. Nous ne pouvons donner une plus juste idée de sa méthode d'exposition qu'en résumant le programme qu'il a suivi. Espèces de bois employées comme combustibles; composition élémentaire; proportion d'eau; pesanteur spécifique; proportion et composition des cendres; rapidité de croissance et production; poids des bois; instructions pour la coupe et l'empilage. Il s'arrête là et entreprend d'après le même procédé la description de la tourbe, des houilles et du lignite. Il revient ensuite au charbon de bois et il décrit complétement les procédés de carbonisation. Le coke de la tourbe et le coke de houille viennent à leur tour. Ce dernier est étudié *in extenso* dans ses procédés de fabrication en raison de l'importance qu'il a acquise dans la métallurgie. Enfin les gaz combustibles. Ainsi le livre I^er^ a été consacré aux généralités sur les métaux; le livre II aux combustibles.

Le livre III l'est aux matières réfractaires naturelles servant à la fabrication des creusets, des cornues, des briques pour fours, etc. Cette partie des procédés métallurgiques a fait de tels progrès qu'il faut savoir gré à l'auteur d'y avoir attaché beaucoup d'importance. La conservation des parois des appareils constitue une des plus grosses difficultés du traitement des métaux. Depuis plusieurs années, l'élévation de la température est recherchée dans la métallurgie, comme l'était autrefois la pierre philosophale. On ne prévoyait, sans doute, pas l'utilité de mettre en contact direct une enveloppe en matière réfractaire avec le métal en fusion, à la température créée par la combustion du carbone contenu dans la fonte, comme cela se produit dans l'appareil Bessemer; mais on reconnaissait que, dans tous les progrès des arts métallurgiques, l'élévation de la température était un gage de succès. De là l'accroissement des dimensions des hauts fourneaux, de la pression du vent et de toutes les conditions d'ampleur qui amènent la régularité de marche. Aujourd'hui il n'est pas de perfectionnements qu'on n'espère obtenir à l'aide de nouveaux accroissements de température, et on veut arriver à la limite de ce que peuvent en permettre les matières réfractaires les plus pures et les plus soigneusement fabriquées.

Nous voici à la fin du premier volume du docteur Percy, mais non de celui de ses traducteurs.

En effet, la tourbe, l'épuration des charbons, les fours à coke, les fours Siemens et les produits réfractaires bien que traités avec l'étendue que

en vue de l'industrie française. Les appareils varient en pareil cas comme la nature du combustible ou des matières minérales. Les traducteurs ont donc mis à contribution les procédés récemment adoptés en France, en Belgique et en Allemagne : ce pays de la métallurgie qu'ils connaissent parfaitement. La tourbe est délaissée en Angleterre devant l'immense richesse de charbon, et la qualité de celui-ci dispense généralement de son épuration ; les fours à coke y varient moins qu'ailleurs. Or, de tout cela il n'en est de même dans aucun des trois pays que nous venons de nommer.

Les fours Siemens, servant à la génération des gaz combustibles et à l'accumulation de la chaleur, n'avaient pas encore pris dans l'industrie, quand le docteur Percy a écrit son livre, le rang qui leur appartient. Enfin, il importait de donner des détails sur les produits réfractaires qui sont le plus à notre portée, et de décrire les procédés de leur fabrication actuellement employés en France, en Belgique, etc.

L'appendice que les traducteurs ont ajouté au premier volume que nous avons sous les yeux, est donc un complément indispensable à l'ouvrage du docteur Percy. L'œuvre se trouve ainsi mieux assimilée aux circonstances locales de notre industrie. Son utilité nous devient plus immédiate.

Nous pouvons donc répéter en terminant ce que nous avons dit au commencement de cet exposé de nos impressions. Le premier volume du traité de métallurgie est, par l'introduction, une histoire générale des métaux, et par l'ouvrage en lui-même et ses appendices, un excellent traité des combustibles et des matières réfractaires. Il forme un tout complet pour les choses qu'il traite. Son utilité est incontestable et on ne peut que remercier auteur et traducteurs du soin avec lequel leur entreprise est commencée.

CATALOGUE

DES

OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Agriculture.

DRAINAGE.

Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.
Guide du draineur, par M. Faure.

GÉNÉRALITÉS.

Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.
Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.
Agriculture (Cours de M. Gasparin).
Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Comité central agricole de la Sologne (Procès-verbal de la séance du 22 septembre 1864).

DIVERS.

Conservation des grains par l'ensilage, par M. Doyère.
Conservation (sur la) des grains par l'ensilage, par M. Léon Malo.
Conservation (sur la) des grains, par M. Delonchant.
Culture maraîchère, par M. Courtois-Gérard.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.
Éléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture, par M. Pouriau.
Engrais (Annuaire des) et des amendements, par M. Rohart.
Engrais (fabrication économique des) par M. Rohart.
Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier, par MM. de Robernier, Porro Félix, et Porro Ignace.
Guide de chimie agricole, par M. Basset.

Habitations ouvrières et agricoles, par M. Emile-Muller.
Labourage à vapeur. (Rapport du jury au concours international de Roanne, par M. Pépin-Lehalleur.)
Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.
Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.
Manége Pinet (Rapport sur le).
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Phosphates de chaux en Angleterre, par M. Ronna.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Progrès de l'Agriculture moderne dans la plaine des Fossés, par M. le marquis de Poncis.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Registre des chevaux pur sang.
Soufrage économique de la vigne, par M. H. Marès.
Tarif et prix du règlement des travaux de jardinage, par M. Lecoq.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.
Vignes du Midi, par M. Marès.

IRRIGATIONS.

Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.
Irrigation ; son influence sur l'agriculture, et des moyens d'y pourvoir, par M. J.-A. Krajembrenk, ingénieur à Java.
Irrigations (Recherches sur les eaux employées dans les), par MM. Salvetat et Chevandier.

Chemins de fer.

ACCIDENTS. — SIGNAUX.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes publiées dans le journal *le Brevet d'invention*, par M. Jules Gaudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Émile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.
Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. Grivel.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.
Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de l'exploitation sur les chemins de fer.
Indicateurs électriques destinés à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer, par M. Regnault.
L'Électricité et les chemins de fer, par M. Fernandez de Castro.
Signaux fixes (pose et manœuvre) du chemin de fer de Lyon, par M. Marié.

Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.
Chemins de fer d'Angleterre. (Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration), législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, par MM. Molinos et Pronnier.
Chemin de fer allant au camp de Châlons (Travaux exécutés pour l'établissement de l'embranchement), par M. Vuigner.
Chemin de fer hydraulique, par M. L.-D. Girard.
Chemins de fer à courbes de petits rayons (Système applicable aux), par M. Arbey.
Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneur.
Chemin de fer de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Vitry à Gray, par M. Brière de Mondétour.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain à Newport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. E. et A. Barrault.
Chemins de fer (La Russie et ses), par M. E. Barrault.
Chemins de fer suisses et les rails-way Claring house de Londres, par M. Bergery.
Chemin de fer du Saint-Gothard, par M. Koller.
Comparaison entre un profil de chemin de fer à inclinaison de 15 millimètres et un profil à inclinaison de 25 millimètres, par M. E. Flachat.
Complément des voies de communication dans le centre de la France, par M. Stéphen Mony.
Construction des chemins de fer, par M. Émile With.
Enquête sur la construction et l'exploitation des chemins de fer.
Études sur les voies de communication, par M. Teisserenc.
Géométrie des courbes et garages des voies de chemins de fer, par M. V. Prin.
Pentes et rampes, par M. Léveillé.
Propulseur atmosphérique, par M. Petiet.
Questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer (Commission sur les).
Rapport sur les chemins de fer suisses.
Rapport sur les chemins de fer Neuchâtelais, par M. de Pury.
Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport ou compte rendu des opérations du chemin de fer de l'État belge pour les années 1842, 1844, 1845, 1846, etc., jusqu'à 1864.
Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.
Rapport du conseil d'administration du chemin de fer de Hainaut et Flandres.
Rapport sur les chemins de fer de Belgique, par M. Teisserenc.
Rapport sur l'application du fer dans les constructions des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Résistance dans le passage des courbes de chemin de fer, par M. Visscoq.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).

Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer, par M. Goschler.
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Traité pratique de la construction des chemins de fer, par M. D'Adhémar.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. Flachat.
Traversée du Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier, par M. Barmane.
Traversée des montagnes avec l'air comprimé dans les tunnels métalliques, par M. Berrens.

GÉNÉRALITÉS.

Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Budget de chemin de fer (Projet), par M. F. Hubert.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi.
Cahier des charges du chemin de fer Victor-Emmanuel.
Calculs sur la sortie de la vapeur dans les machines locomotives, par M. Janneney.
— sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduites de vapeur et de fumée dans les locomotives, par MM. Flachat et Petiet.
Chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, par M. Audiganne.
Chemins de fer (les) en 1862 et 1863, par M. E. Flachat.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemins de fer à bon marché (Rapport sur les), par M. Bergeron.
Consultation sur des questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer.
Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.
Emploi de la houille dans les locomotives et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.
Exploitation des chemins de fer (Améliorations à introduire dans l'), par M. Bordon.
Foyer fumivore Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet Félix.
Guide commercial à l'usage des chefs de gares et stations, par M. Petit de Coupray.
Histoire financière des chemins de fer français, par M. de Laveleye.
Moyens financiers (Précis sur les) des chemins de fer de France, par M. Crosnier.
Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les locomotives, par MM. Meyer.
Rachat des chemins de fer par l'État, par M. Poujard'hieu.
Ressorts en acier (Mémoire sur les), par M. Phillips.
— (Manuel pratique pour l'étude et le calcul des), par M. Phillips.
Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu.
Statistique des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Tarif des chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Emile With.

MATÉRIEL ROULANT.

Chemins de fer d'Angleterre (Matériel roulant des), par M. Lechatellier.
Chariots roulants sans fosse, par M. Sambuc.
Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.

Contrepoids (Des) appliqués aux roues motrices des machines locomotives, par MM. Couche et Résal.
Essieux pour les chemins de fer, par M. Benoît-Duportail.
Essieux creux à graissage continu, par M. Evrard.
Frein automoteur (Rapport), par MM. Robert, Combes et Couche.
Frein dynanométrique, par M. Chuwab.
Frein hydraulique, par M. Meller jeune.
Frein Caltellvi.
Frein instantané pour chemin de fer, par M. Tourasse.
Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.
Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives, par MM. Le Chatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau.
Locomotives pour forts trains express avec train universel, par M. Vaessen.
Locomotive à grande vitesse, avant-train mobile, par M. Robert d'Erlach.
Locomotive articulée à douze roues couplées, par M. Rachaert.
Locomotive à poids utile, pour le passage des Alpes et des Pyrénées sur les rampes de 5 pour 100, par M. Cernuschi.
Locomotive de M. Haswell (Note descriptive sur une), par M. J. Gaudry.
Locomotive de montagne, par M. Beugniot.
Matériel des chemins de fer (De la réception du), par M. Benoît-Duportail.
Matériel des chemins de fer. Documents officiels, par MM. Valério et de Brouville.
Matériel roulant permettant la construction des chemins de fer à petites courbes et fortes rampes, par M. Edmond Roy.
Matériel roulant des chemins de fer, par M. Nozo.
Matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais, remis par M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Mémoire sur un système de wagons et sur la composition des trains.
Moteur des convois de chemins de fer dans les grands tunnels (Notice sur le), par M. Nicklès.
Nouveau Mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.
Programme de concours pour une machine pour le chemin de fer du Semmering, Consul d'Autriche.
Roues pleines en tôle, par M. Amable Cavé.
Théorie de la coulisse, par M. Phillips.
Traction sur plans inclinés au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur fumiculaire, système Agudio (Rapport à M. le Ministre des travaux publics), par M. Combes.

VOIE.

Amoncellements de neige sur les chemins de fer (Moyens de prévenir les), par M. Nordling.
Bagues en fonte applicable à la voie Vignole, par M. Desbrière.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.
Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemins de fer, par M. Sambuc.
Considérations sur les serre-rails et table-rails, par M. Barberot.
Croisements des voies par M. Le Cler.

Croisements et changements de voies (Études sur les), par M. Richoux.
Éclissage, nouveau système, par M. Desbrière.
Nouveau système de pose de rails, par MM. Prestat, Thibaut et Constant.
Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.

Chimie industrielle.

Analyses chimiques (Dictionnaire des), par MM. Violette et Archambault.
Chimie agricole (Guide de), par M. Basset.
Chimie industrielle (Précis de), par M. Payen.
Chimie (Introduction à l'histoire de la), par M. Liebig.
Chimie (Précis élémentaire), par M. Garnier.
Chimiques (Nouvelles manipulations), par M. Violette.
Chimie, céramique, géologie, métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Conservation des bois, procédé Legé et Fleury-Perronnet.
Conservation et coloration des bois (Réponse aux experts), par M. Gardissal.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois, par M. Meyer d'Uslar.
Éclairage (Traité de l'), par M. Péclet.
Éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry.
Fabrication et distribution du gaz d'éclairage et de chauffage de M. Samuel Clegg, traduit par M. Servier.
Fabrication du gaz à la houille et à l'eau, par M. Faure.
Gaz de Londres (Usines à), par M. Jordan.
Gélatine (Mémoire sur la). par M. de Puymaurin.
Imprégnation des bois, par M. Pontzen.
Nouvelle méthode pour reconnaître et déterminer le titre véritable et la valeur commerciale des potasses, des soudes, des acides et des manganèses, par M. le docteur Bichon.
Procédés volumétiques pour le dosage du zinc et l'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique.
Rouges d'aniline (Mémoire sur les), par E. Jacquemin.
Rouges d'aniline, l'azaline et la fuschine (Mémoire sur les), par M. Maurice Engelhard.
Rouge d'aniline et la fuschine (Examen comparatif sur le), par M. E. Kopp.
Silicatisation ou applications des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres poreuses, par M. Kuhlmann.

Divers.

Albums photographiques. Vues de la Grèce, de l'Égypte, de Constantinople et de Venise.
Amélioration de l'abri des troupes en campagne, par M. P. Barbe.
Bibliographie des ingénieurs et des architectes.
Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.
Caisse de retraite pour la vieillesse (Rapport sur la), par M. Pereire.

Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.
Écoles d'arts et métiers d'Angers (Notice), par M. Guettier.
Écoles impériales d'Arts et Métiers de Liancourt, Compiègne, Beaupréau, Chalon Angers et Aix, par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Excursion en Angleterre et en Écosse, par M. Burel.
Exploration du Sahara et du continent Africain, par Gérard.
Exposition universelle. Une dernière annexe, par M. Andraud.
Exposition nationale de Constantinople, par M. Ganneron.
Fondation d'un collége international à Paris, à Rome, à Munich et à Oxford, par M. Eugène Rendu.
Guide du sténographe, par M. Tondeur.
Guide-Manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
Inventeurs (Les) et les inventions, par M. Émile With.
La chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, traduite du grec, par MM. Vincent et Prou.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Liberté du travail et les coalitions, par M. Baudouin.
Marques de fabriques. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes.
Notice sur J.-P.-J. d'Arct.
Notice sur les travaux de M. Lebon d'Humbertin, inventeur du thermo-lampe, par M. Gaudry.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Organisation de l'enseignement industriel, par M. Guettier.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Propagation des connaissances industrielles, par M. Guettier.
Production et le commerce des sucres (Notice sur la), par M. De Dion.
Recherches sur la détermination du prix de revient, par M. Teisserenc.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.

Géologie.

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleye.
Cartes agronomiques des environs de Paris, et cartes géologiques et hydrologiques de la ville de Paris, par M. Delesse.
Composition de l'appareil spécial de certains échinodermes et sur le genre protophyte, par M. Ebray.
Études géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Études géologiques sur le Jura neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.
Études géologiques, brochures diverses, par M. Ebray.
Étude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Formations volcaniques du département de l'Hérault, dans les environs d'Agde et Montpellier, par M. Cazalis de Fondouce.

Géologie du Pérou, par M. Crosnier.
Géologie du Chili par M. Crosnier.
Rapport sur les provinces du levant de l'Espagne, par M. Ch. Laurent.
Revue de géologie pour l'année 1863, par MM. Delesse et Laugel.

Machines à vapeur.

Albums des machines, outils et appareils construits dans les ateliers de M. Frey fils.
Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.
Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par M. Ortolan.
Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.
Condenseurs par surfaces, et de l'application des hautes pressions à la navigation à vapeur, par M. Sébillot.
Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.
Emploi de la houille dans les locomotives, et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.
Explosion des machines à vapeur, par M. Audraud.
Foyer fumivore, par M. de Fontenay.
Foyer fumivore de M. Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet Félix.
Guide du mécanicien conducteur de locomotives, par MM. Flachat et Petiet.
Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.
Incrustations salines (Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des) par M. Guinon.
Injecteur Giffard (Notice théorique et pratique sur l').
Labourage à la vapeur (Rapport du jury au concours international de Roanne), par M. Pepin Lehalleur.
Loi mathématique de l'écoulement et de la détente de la vapeur, par M. Carvalho.
Locomotives. (Voir *Matériel roulant.*)
Machines à vapeur fixes ou locomobiles (Recueil de), de M. Cumming.
Machines à disques, par M. Rennie.
Machines de Marly, par M. Charles Prièz.
Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique), par M. Jules Gaudry.
Machine avec générateur à combustion comprimée de M. Pascal (Rapport sur la), par M. Colladon.
Machine à gaz, par M. Gérondeau.
Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.
Mouvement du tiroir (Notice sur les méthodes graphiques usitées pour étudier le), par M. Vidal.
Navigation fluviale par la vapeur, par MM. Ferdinand Mathias et Callon.
Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's.
Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.
Steam Boiler. Explosions.
Théorie de la coulisse, par M. Phillips.
Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur, par M. Armengaud aîné.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur fixes, locomotives et maritimes, par M. Jullien.
Transports des marchandises sur les canaux au moyen de la vapeur, par M. Dubied.

Mathématiques et Sciences diverses.

Cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'École centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Géométrie descriptive (Éléments), par M. Babinet.
Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.
Tachéométrie (Guide pratique de), par M. Joseph Porro.
Topographie et géodésie (Cours de), par M. Benoît.
Traité de cinématique, par M. Bélanger.
Traité de cinamique d'un point matériel, par M. Bélanger.

Mécanique.

Air comprimé (Notice historique sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareil aérohydrostatique de M. Seiler.
Barrage hydropneumatique, par M. Girard.
Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres; suivi de la Construction de la vis d'Archimède, par M. Benoît Duportail.
Détermination du volant et du régulateur à boules ramenant la vitesse de régime, par M. Charbonnier.
Dyname (Le), par M. Boudsot.
Engrenage à coin, par M. Minotto.
Machines-outils, par M. Chrétien.
Mécanique pratique, leçon par M. A. Morin.
Moteurs hydrauliques (Traité théorique et pratique des), par M. Armengaud.
Organes de machines (Collection d'). Cours de M. Lecœuvre.
Portefeuille des principaux appareils, machines, instruments, par M. Chaumont.
Rapport sur le moteur-pompe de M. Girard, par M. Callon.
Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures (Exposition universelle de Londres 1851), par M. le général Poncelet.
Traité complet de la filature de coton, par M. Alcan.
Transmission à grandes vitesses. Paliers graisseurs de M. de Coster, par M. Bencil-Duportail.
Travaux de vacances des élèves de l'École centrale (Albums des).
Turbines hydropneumatiques, par MM. Girard et Callon.

Métallurgie. — Combustibles.

Agglomération des charbons menus, par M. Gérondeau.
Aluminium dans la métallurgie (Importance de l'), par M. Tissier.

Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Chimie. Céramique, géologie et métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Coulées de moules en coquilles sur l'application de l'électricité aux métaux en fusion et sur le tassement des métaux, par M. Guettier.
Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. H. Fournel.
Essai des chaînes-cables.
Étude sur l'état actuel de la métallurgie du fer dans le pays de Siegen (Prusse), par M. Jordan.
Exploitation et traitement des plombs dans le midi de l'Espagne.
Fabrication de l'acier en Angleterre, par M. Grateau.
Fabrication et prix de revient des rails (Mémoire sur la), par M. Curtel.
Fabrication des fontes d'hématite, par M. Jordan.
Fonderie (De la), telle qu'elle existe aujourd'hui en France, par M. Guettier.
Fonte Gruson avec album.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
L'Art du maître de forges, par M. Pelouze.
Métallurgie pratique, par M. D.
Métallurgie (Traité complet), par le docteur Percy, traduit par MM. Petitgand et Ronna.
Nouvelle méthode d'extraction de zinc, par M. Muller.
Procédés volumétriques de dosage du zinc, et d'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Produits et divers procédés de la manufacture d'acier fondu de M. Friedrich Krupp.
Théorie de la trempe, par M. Jullien.
Traité de la Fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et A. Barrault.
Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, par M. Jullien.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.
Usine de Spreuk bank fomedry (Note par M. Gaget.)
Utilisation des scories de forges, procédé de MM. Minary et Soudry.

Mines. Carrières.

Appareil de sûreté pour l'exploitation des mines, par M. Amable Cavé.
Aperçu du travail des hauts fourneaux dans quelques États de l'Amérique du Sud, par M. Henri Fournel.
Avenir de l'exploitation des mines métalliques en France, par M. Petitgand.
Bassin houiller de Graissessac, par M. Mercier de Buessard.
Carbures de fer. En général les fers impurs sont des dissolutions, par M. C.-E. Jullien.
Canaux souterrains et houilliers, de Worsley près Manchester (Mémoire sur les), par MM. H. Fournel et Dyèvre.
Concession de Grigues et la Taupe, par M. Henri Fournel.
Exploitation des mines, de leur influence sur la colonisation de l'Algérie, par M. Alfred Pothier.
Fer et du charbon (Du) à Epinac, par M. Gislain.
Fusées de sûreté (de MM. Chenu et comp.), par M. Le Chatelier.
Houilles sèches et maigres du bassin de la Sambre inférieure.
Lampe de sûreté pour les mines de houille, par M. Prouteaux.

Matériel des houillères en France et en Belgique, par M. Burat Amédée.
Mémoire sur les principales variétés de houilles consommées sur le marché de Paris et du nord de la France, par M. de Marsilly.
Minéralogie appliquée, par M. A. Burat.
Minerais d'étain exploités à la Villède, par M. Guettier.
Minéralogie usuelle, par M. Drapier.
Minéralogie (Traité élémentaire), par M. Naranzo.
Mines de houille de l'Angleterre (Rapport sur les), par M. Th. Guibal.
Mines de la Grand'Combe (Rapport sur les).
Mines de Languin, par M. Henri Fournel.
Mines de Seyssel, par M. Henri Fournel.
Rapport de la Commission chargée d'examiner les divers projets présentés à la Société des charbonnages de Saint-Vaast pour le percement des sables mouvants de son puits de Bonne-Espérance, de M. Th. Guibal.
Richesse minérale de l'Algérie, par M. Henri Fournel.
Situation de l'industrie houillère, par M. A. Burat.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.

Ouvrages Périodiques.

Album encyclopédique des chemins de fer, par MM. Boise et Thieffry.
Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des Ponts et Chaussées.
Annales des Mines.
Annales de la Construction, par M. Oppermann.
Annales Télégraphiques.
Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées.
Annales du Génie civil.
Annales du Conservatoire.
Annales de la Société des Ingénieurs industriels de Madrid.
Annuaires de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers.
Bâtiments de chemins de fer, par Chabat.
Bulletins de la Société d'Encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1861.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers*.
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Presse scientifique des Deux-Mondes.
Bulletins de la Société industrielle d'Amiens.
Bulletin du comité des forges.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins des Ingénieurs suédois.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Étienne.
Bulletins de la Société des architectes et ingénieurs du royaume de Hanovre.
Bulletins de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.
Bulletin de la Société de géographie.

Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des ponts et chaussées.
Cosmos (Le).
Génie industriel, par MM. Armengaud.
Journal *la Célébrité.*
Journal des Mines.
Journal *l'Invention*, par M. Desnos.
Monitor cientifico-industrial di Barcelona.
Les Mondes, Revue hebdomadaire des sciences, par M. l'abbé Moigno.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des garde-mines.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Publications administratives, par M. Louis Lazare.
Revue d'Architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des Mines et de la métallurgie.
Revue des Deux-Mondes.
Revue contemporaine.
Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.
The Engineer (Journal).
Train (le), Indicateur des chemins de fer.

Physique Industrielle.

Air comprimé (Notice sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils d'éclairage (Album des), de M. Masson.
Appareils fumivores, par M. Marion-Fauvel.
Assainissement de la savonnerie Ariot, par M. Félix Foucou.
Calorifère à eau chaude et à petits tuyaux, par MM. Gallibour et Gaudillot.
Calorique latent (Procédé élémentaire), par M. Julien.
Combustion de la fumée, par M. Petitpierre Pellion.
Combustion du charbon (Considérations chimiques et pratiques), par M. Williams.
Écoulement des gaz en longues conduites (Compte rendu d'expériences sur l'), par M. Arson.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. Fernandez de Castro.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. E. With.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière et l'électricité, par M. Love.
Étude sur les combustibles employés en industrie, et de la tourbe, par M. Challeton.
Études sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny d'Évreux.
Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.
Fourneaux fumivores. Historique; état actuel de la question, par M. Wolski.
Foyer fumivore de M. de Fontenay.

Foyer fumivore de M. Tenbrinck.
Gyroscope de M. Foucault (Théorie du), par M. Yvon Villarceau.
Microscope (Construction et emploi du), par M. Ch. Chevalier.
Photographe (Guide du), par M. Ch. Chevalier.
Photographiques (Appareils), par M. Ch. Brooke.
Science populaire, par M. Bambosson.
Sciences physiques (Éléments des) appliquées à l'agriculture, par M. Poureau.
Télégraphe électrique, par M. Victor Bois.
Télégraphe électrique, par M. Miége.
Télégraphe (Ligne de), par M. Verord.
Telégraphique continentale (Projet d'une ligne) entre l'Europe et l'Asie, par M. Jousselin.
Transports pneumatiques, par M. Léon Malo.
Usines à gaz de Londres, par M. Jordan.
Ventilation (Étude sur la), par M. le général Morin.

Recueil de Formules.

Aide-Mémoire des ingénieurs, par M. T. Richard.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.
Formules ordinaires employées pour calculer la résistance des ponts métalliques.
Instructions pratiques à l'usage des Ingénieurs, par M. Armengaud aîné.
L'ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Manuel calculateur du poids des métaux, par Van Alphen.
Manuel du conducteur et de l'agent voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M. Emile With.
Mesures anglaises et mesures françaises, par M. Camille Tronquoy.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guéraudet.
Tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.
Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements par M. Eugène Péreire.
Table de Pythagore de 1 à 1,000,000, par M. Griveau.
Tables de coefficients, par M. Lefrançois.
Tableaux destinés à remplacer, sous un très-petit volume, la plupart des tables numériques, par M. Bouché.
Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.

Statistique et Législation.

Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.
Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.
Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Etudes sur les lois actuelles), par M. Damourette.

Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Emile Barrault.
Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations française et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.
Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).
Code des chemins de fer, par M. Cerclet.
Colonies agricoles (Études sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.
Communications postales entre la France et l'Angleterre.
Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.
Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.
Crédit foncier et agricole dans les divers États de l'Europe, par M. Josseau.
Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.
Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).
Douanes. Tableau général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec les colonies et les puissances étrangères.
Droit des inventeurs, par M. E. Barrault.
École centrale d'architecture, par M. Émile Trélat.
Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.
Étude sur le Cadastre des terres, sur les Hypothèques et l'Enregistrement des actes publics et sur la Péréquation de l'impôt foncier.. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Roberniers, Ignace et Félix Porro.
Étude sur l'instruction industrielle, par M. Guettier.
Loi des États-Unis sur les Inventions, par M. Émile Barrault.
Organisation de l'industrie. Projet des Sociétés de papeterie en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.
Organisation de l'École Polytechnique et pour les Ponts et Chaussées, par M. Vallée.
Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobart.
Observation sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.
Observation sur le recrutement du corps des Ponts et Chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.
Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.
Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Rapport sur les patentes des États-Unis, par le major Poussin.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Situation des lignes télégraphiques belges en 1859, 1860 et 1861, par M. Vinchen.
Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.
Statistique industrielle, publiée par la Chambre de commerce de Paris.
Tablettes de l'inventeur et du breveté, par M. Thirion.

Technologie.

Alliage des métaux industriels (Recherches pratiques), par M. Guettier.
Catalogue des collections du Conservatoire des Arts et Métiers.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.

Céramiques (Rapport sur les arts) fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Conseiller du débitant, par M. du Liége.
Décoration et Fabrication de la porcelaine en Chine (Rapport sur la composition des matières employée dans la), par MM. Ebelmen et Salvetat.
Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.
Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Éléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par M. Choinet.
Gréement, par M. Bréart.
Guide pratique de la meunerie et de la boulangerie, par M. Marmay.
Guide du bijoutier, par M. Moreau.
La science populaire, par M. Rambosson.
Matières textiles, par M. Alcan.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Nouveau Cosmos, par M. Dubois.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport des experts dans l'affaire Guebhard et Schneider, par MM. Faure, Boutay et Flachat.
Rapport sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heilman, par M. Alcan.
Rapport du Jury international de 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Rapport ou compte rendu de l'Exposition de Londres de 1851, par M. Lorentz.
Rapport de 1854. Patent office.
Traité pratique de la boulangerie, par M. Roland.
Travaux de la Commission française sur l'industrie des Nations (Exposition universelle de 1855).

Travaux publics.

Cathédrale de Bayeux, reprise en sous œuvre de la tour centrale, par MM. de Dion et Lasvignes.
Construction (Cours de), par M. Demanet.
Construction du Palais de l'industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.
Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.
Constructions économiques et hygiéniques, par M. Lagout.
Description des appareils employés dans les phares, par M. Luccio del Valle.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Docks à Marseille (Projet de), par M. Flachat.
Docks-entrepôts de la Villette, par M. E. Vuigner.
Digues monolithes en béton aggloméré, par M. François Coignet.
Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.
Enseignement des beaux-arts, par M. E. Trélat.
Études architecturales à Londres, en 1862, par M. Émile Trélat.
Examen de quelques questions de travaux publics, par M. Henri Fournel.
Exposition universelle de 1867 (Avant projet relatif à l'), par M. A. Barrault.
L'Opéra et le théâtre de la Seine, par M. Barthélémy.

Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient, par M. Jullien.
Modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics qui figuraient à l'Exposition universelle de Londres en 1862.
Notice sur Saint-Nazaire, par M. G. Love.
Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest, exécutés par l'État, par M. A. Martin, ingénieur en chef des Ponts et chaussées.
Reconstruction de l'Hôtel-Dieu (Critique sur la), par M. Ulysse Trélat.
Vademecum administratif de l'Entrepreneur des Ponts et chaussées, par M. Endrès.

DISTRIBUTION D'EAU.

Assainissemennt de Paris, par M. Baudemoulin.
Alimentation en eau de Seine de la ville de Paris, par M. Aristide Dumont.
Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Dérivation de la Somme-Soude et du Morin, par M. Dugué.
Distributions d'eau, par M. Aristide Dumont.
Documents sur les eaux de Paris.
Eaux de Seine de Saint-Cloud, amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Eaux de Paris (Les), par MM. Sébillot et Mauguin.
Eaux de Paris (Notice sur les), par M. Ch. Laurent.
Eaux de la ville de Liége (Rapport sur les), par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Egoûts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par Vereluys.
Inondations souterraines de la ville de Paris, par Vaunier.
Inondation souterraine (Rapport sur l') qui s'est produite dans les quartiers Nord de Paris, par MM. Delesse, Beaulieu et Yvert.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

Album des types des fers Zores.
Album des fers spéciaux de la Société des hauts fourneaux et laminoirs de Martigny-sur-Sambre.
Album des fers spéciaux fabriqués par la Société de Couillet.
Art du briquetier (L'), par M. Challeton.
Asphalte, son origine, sa préparation et ses applications, par M. Malo.
Bétons agglomérés, par M. François Coignet.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Bétons agglomérés (Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des) à base de chaux, par M. François Coignet.
Dimensions et poids des fers spéciaux du commerce, par M. Camille Tronquoy.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle (Rapport sur les), par M. Delesse.
Mortiers (Traité sur l'art de faire de bons), par M. Rancourt.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.

OUTILLAGE.

Appareil de plongeur, le Scaphandre, par M. Cabirol.
Appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer, par M. Castor.
Brouette (Notice sur la), par M. Andraud.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Scie à recéper sous l'eau (Notice sur la construction d'une), par M. Ganneron.

PONTS, VIADUCS ET SOUTERRAINS.

Application de la tôle à la construction des ponts de chemins de fer de ceinture, par M. Brame.
Arches de pont envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon-Villarceau.
Calculs des arcs métalliques dans les cas de grandes surcharges, par M. Albaret.
Calcul des arcs métalliques, par M. Albaret.
Chute des ponts (De la), par M. Minard.
Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice sur la), par M. Toni Fontenay.
Construction des planchers et poutres en fer, par M. G. Joly.
Construction des viaducs, ponts-aqueducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Toni Fontenay.
Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.
Emploi pratique et raisonné de la fonte de fer dans les constructions, par M. Guettier.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, système Oudry : Cadiat.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.
Emploi de l'air comprimé au fonçage des piles et culées du pont de Kehl sur le Rhin, par M. Maréchal.
Équilibre des voûtes (Examen théorique et critique des principales théories sur l'), par M. Poncelet.
Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voûtes à plein cintre, anse de panier et arcs de cercle, par M. Marguet.
Mémoire de M. Fortin-Hermann sur les fondations tubulaires.
Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris, par M. Hérard.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-George, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.
Pont du Rhin à Kehl, par M. E. Vuigner.

Pont de Castelfranc, système Cadiat et Oudry (Notice sur le).
Poutre à treillis (Étude sur la détermination du rapport existant entre les sections dangereuses des semelles et des barres inclinées à 45 degrés d'une), par M. Prou.
Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu, par M. Hodgkinson.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Stabilité des ouvrages d'art, destinés à porter de grands remblais, par M. Bernard.
Théorie pratique et architecture des ponts, par M. Brunell.
Traversée des Alpes, percement du mont Cenis, par M. Sommeiller.

PORTS MARITIMES. CANAUX.

Canal Cavour. Halian, irrigation, canal Company.
Canal du Berri (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez (Question du tracé du), par MM. Alexis et Émile Barrault.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Canal maritime de Dieppe à Paris, par MM. Aristide Dumont et Louis Richard.
Chemins de hallage et berges des canaux d'Angleterre et d'Écosse, par M. E. Vuigner.
Études sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F. N. Mellet.
Études sur la navigation, par M. Bounican.
Organisation légale des cours d'eau, par M. Dumont.
Percement de l'Isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'Isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Percement de l'Isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question du), par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Projet du port Saint-Nazaire (Notice sur le), par M. G. Love.
Procédés employés pour racheter les chûtes sur les canaux de navigation, naturels ou artificiels, par M. E. Vuigner.
Rapport sur les portes en fonte de fer, établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Suppression du canal Saint-Martin, et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Traction des bâteaux sur les canaux, par M. Bouquié.
Traction des bateaux, fondée sur le principe de l'adhérence, par M. Beau de Rochas.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gossenet.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Brocchieri.
Travaux exécutés pour améliorer le régime des eaux sur les rivières et le canal de l'Ourcq, par M. E. Vuigner.
Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par M. Granger.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (Avant projet d'un), par M. Thomé de Gamond.
Voies navigables en Belgique, par M. Vilquain.

Études sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.
Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Love.
Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.
Résistance de la fonte de fer par la compression, par M. Damourette.
Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions, par M. Love.
Résistance des matériaux, par M. le général Morin.
Sur la loi de résistance des conduites intérieures à fumée dans les chaudières à vapeur, par M. Love.
Théorie de la résisiance et de la flexion plane des solides, par M. Bélanger.

ROUTES.

Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruène.
Chemins vicinaux, par M. M. Volland.
Constructions des formules de transport pour l'exécution des terrassements, par M. Dinan.
Pavage et macadamisage (Rapport sur le), par M. Darcy.
Table donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais des chemins de fer, canaux et routes, par M. Hugues.

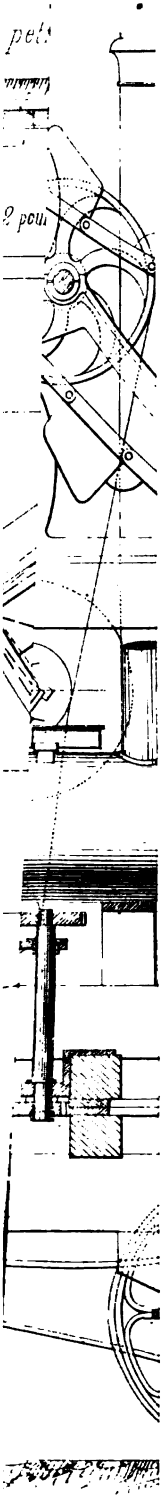
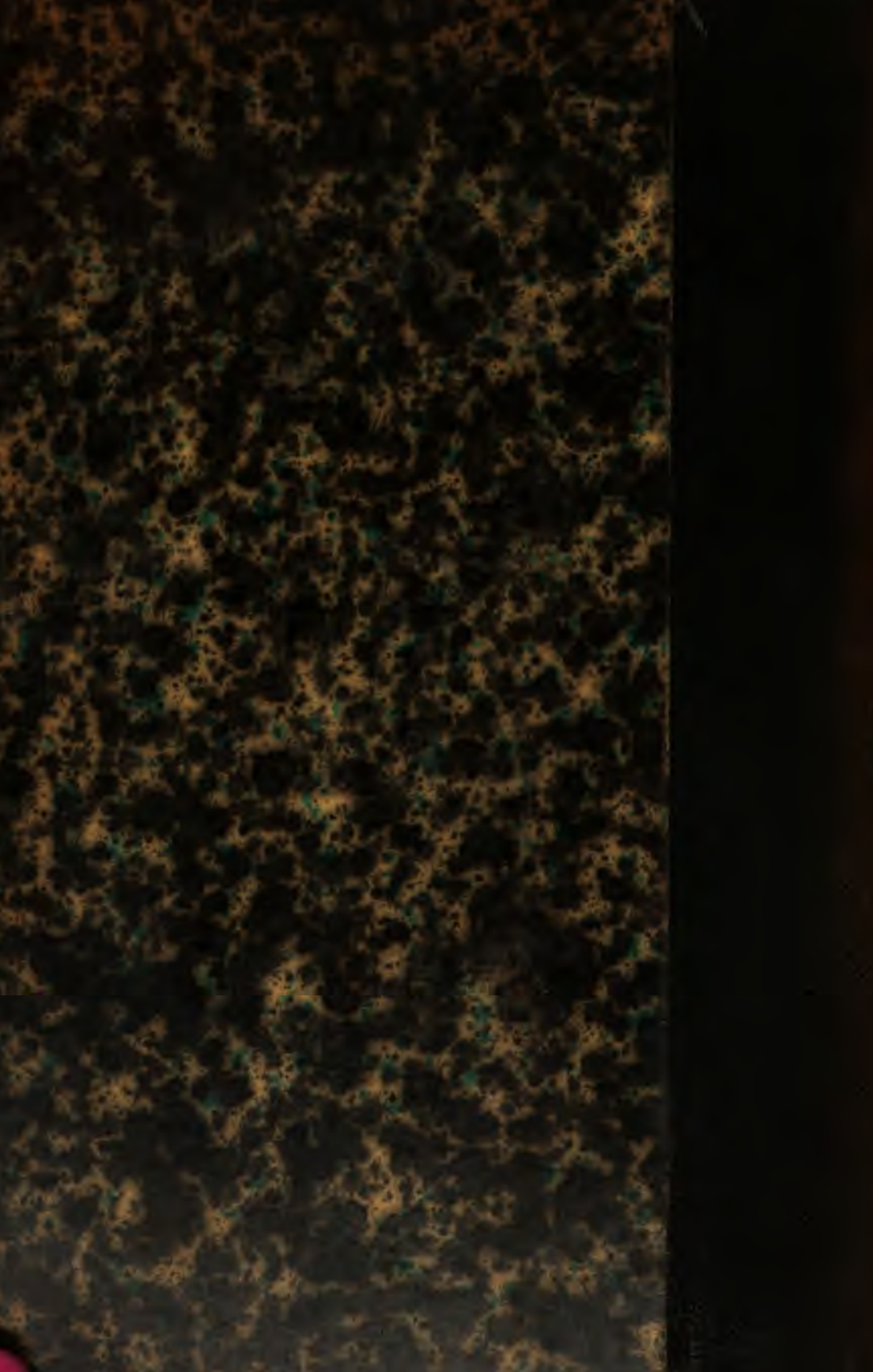
Sondages. — Puits Artésiens.

Guide du sondeur, avec atlas, par M. Degousée.
Puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Sondage à la corde (Notice), par M. Le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent,
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch. Laurent.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Bateaux transatlantiques, par M. Gaudry (séances des 18 nov. et 2 décem.) 454,458
Bétons agglomérés, par M. Coignet (séance du 6 mai)..... 474
Bourroirs en bois et des mèches de sûreté pour le tirage à la poudre (note sur les), par MM. Huet et Geyler..... 404
Canal maritime de Dieppe à Paris (séances du 4 novembre)..... 443
Chauffage par le gaz, système Siemens, son application à la métallurgie, par M. Marin (séance du 20 mai)..... 182 et 223
Chaussées en asphalte comprimé, par M. Malo (séances des 22 janvier et 5 février)..... 38, 43 et 84
Chemin de fer du nord de l'Espagne, par M. Brüll (séance du 2 septembre) 338 et 511
Décès de MM. Boudsot, Boutin, Holcroft (séances des 19 février, 6 mai et 4 novembre)..... 53, 170 et 443
Décorations *dans l'ordre de la Légion d'honneur* (séances des 5 août, 2 septembre et 21 octobre)..... 325, 334 et 429
Commandeurs : MM. Émile Pereire et Perdonnet..... 334 et 429
Officiers : MM. Chevandier, Davillier, Mony et Isaac Pereire..... 334
Chevaliers : MM. Cauvet, Du Pan, Flaud, Forey, Martin (Léon)..... 334
M. Flachat, grand officier de l'Ordre de Charles III..... 430
M. Delannoy, commandeur de l'ordre de Charles III..... 72
M. Moreaux, chevalier de l'Ordre du Lion Néerlandais..... 430
M. Vuillemin, chevalier de l'Ordre de la couronne de Prusse..... 325
Discours d'installation de M. Mac Clean, président de la Société des ingénieurs civils de Londres (Analyse et traduction du), par M. Dallot (séance du 6 mai)..... 474
Drague pour terrassements à sec, par M. Badois (séance du 4 novembre). 444,488 et 506
Economie des bandages et de la stabilité des locomotives, par M. Desmousseaux de Givré..... 367
Elections des membres du bureau et du comité (séance du 16 décembre).... 477
Enseignement professionnel, par MM. Benoît Duportail et Flachat (séances des 1er et 15 avril, 5 août et 21 octobre)..... 157, 169, 325,339 et 433
Filtre de M. Coste, par M. Schabaver..... 537
Fonte Gruson, par M. Richoux (séance du 15 avril)..... 167
Frottement de glissement, par M. Sella (séance du 5 août)..... 325
Installation des nouveaux membres du bureau et du comité (s. du 8 janv.). 25
Isthme de Suez, par M. Flachat et M. Badois (séances des 7 octobre et 4 novembre)..... 411, 444, 468 et 488
Lavoir à charbon de M. Forey, par M. Flachon (séance du 5 août).... 333 et 395

Local de la Société (Nouvelles dispositions à prendre dans le) (s. du 19 fév.). 51
Machines à marchandises du chemin de fer du Nord, rapport de M. Brüll (séance du 1er avril)..... 109 et 162
Machines locomotives à avant-train mobile, pour fortes rampes et courbes à petits rayons, système Vaessen, par M. Marché (séance du 1er juillet) 295 et 316
Niveau de poche, par M. Tardieu (séance du 2 décembre)..... 463
Perforateur de précision, par M. Félix Loisel..... 529
Phosphates de chaux (Fabrication et emploi des) (séance du 1er juillet)..... 313
Ponts métalliques (séance du 2 décembre)..... 463
Préparation des bois dans le but de diminuer leur combustibilité (séance du 21 octobre)..... 430
Presses sterhydrauliques de MM. Desgoffe et Ollivier (séance du 2 sept.).... 336
Prix de 2,000 francs, proposé par M. Perdonnet (séance du 21 octobre)..... 430
Rails (Usure et renouvellement des), par M. Flachat (séances des 22 janvier, 3 et 17 juin, 1er juillet et 5 août).... 42, 137, 201, 304, 349, 329 et 355
Rails (Fabrication et réception des), par M. Rubin (séance du 15 avril)..... 163
Rails, augmentation du poids et de leur surface de roulement, par M. Sieber. 355
Régulateur isochrone de M. Léon Foucault, par M. Sautter (séances des 4 et 18 mars, et 1er avril)..... 65, 72, 99 et 156
Régulateur à force centrifuge de M. Charbonnier (séance du 1er juillet)..... 316
Résumé du 1er trimestre 1864..... 1
Résumé du 2e trimestre 1864..... 119
Résumé du 3e trimestre 1864..... 309
Résumé du 4e trimestre 1864..... 485
Scories de forges (séances des 2 septembre et 2 décembre)..... 334 et 461
Semmering (Exploitation du), par M. Desgrange (séances des 15 avril et 20 mai)..... 164, 179 et 208
Situation financière de la Société (séances des 17 juin et 16 décembre). 200 et 466
Sondages exécutés sous la direction de MM. Laurent et Degousée, à l'hôpital de la marine de Rochefort (séance du 8 janvier)..... 33
Télégraphes en Belgique (service des), par M. Vinchent (séance du 15 avril)..... 165 et 253
Théorème de géométrie, par M. Desmousseaux de Givré (séance du 22 janvier)..... 37 et 92
Théorie mécanique de la chaleur échappement des locomotives, par M. Vidal (séance du 20 mai)..... 180
Traction sur plans inclinés, au moyen d'un moufle différentiel à double effet, ou locomoteur funiculaire de M. Agudio (séances des 8 janvier, 5 février, 4 et 18 mars)..... 34, 43, 68 et 73
Traction en fortes rampes, à l'aide du troisième rail, par M. Desbrière (séance du 18 mars)..... 77
Traité complet de Métallurgie de M. le D. Percy, traduit de l'anglais par MM. Petitgaud et Ronna..... 456 et 537

Paris. — P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.